

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

TESIS

SISTEMA PILOTO DE FITORREMEDIACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
ÁCIDAS DE LOS PASIVOS AMBIENTALES MINEROS DE LA QUEBRADA MESA DE
PLATA – HUALGAYOC – 2017

Tesistas:

Alejandro Aguilar Díaz

Homero Aguilar Díaz

Asesor:

Blgo MSc. Marco Alfredo Sánchez Peña

Cajamarca – Perú

Noviembre – 2017

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería
Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

TESIS

SISTEMA PILOTO DE FITORREMEDIACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
ÁCIDAS DE LOS PASIVOS AMBIENTALES MINEROS DE LA QUEBRADA MESA DE
PLATA – HUALGAYOC – 2017

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el Título
Profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos

Bach. Alejandro Aguilar Díaz

Bach. Homero Aguilar Díaz.

Asesor : Blgo MSc. Marco Alfredo Sánchez Peña

Cajamarca – Perú

Noviembre – 2017

COPYRIGHT © 2017 by

ALEJANDRO AGUILAR DÍAZ

HOMERO AGUILAR DÍAZ

Todos los derechos reservados

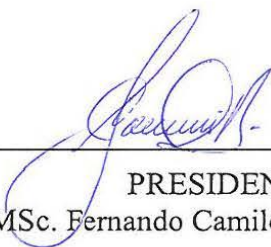
UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

*CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN
DE RIESGOS*

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

SISTEMA PILOTO DE FITORREMEDIACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
ÁCIDAS DE LOS PASIVOS AMBIENTALES MINEROS DE LA QUEBRADA MESA DE
PLATA – HUALGAYOC – 2017



PRESIDENTE

Ing° MSc. Fernando Camilo Joaquín Rodríguez



SECRETARIO

Ing° MSc. Sara Esther García Alva



ASESOR

Blgo MSc Marco Alfredo Sánchez Peña

Dedicatoria

A Nuestros padres y hermanos, por todo su esfuerzo y sacrificio, nuestra gratitud eterna por sus enseñanzas, su ejemplo de solidaridad, trabajo, comprensión y lucha constante de superación.

A Dios por bendecir nuestra mente, por estar con nosotros en cada desafío que emprendemos y por permitirnos llegar hasta este momento tan significativo de nuestra vida.

Alejandro & Homero

Agradecimiento

A nuestros docentes y compañeros de la UPAGU con quienes compartimos el grato deber del conocimiento e incentivarnos a lograr muchos objetivos y metas propuestas, especialmente al Biólogo Marco Alfredo Sánchez Peña, asesor del presente trabajo de investigación por compartir su conocimiento e inspirarnos mucha admiración.

Al Sr. Bernardo Vásquez López, quien nos permitió el desarrollo de esta investigación en su propiedad ubicado en la Quebrada Mesa de Plata – Hualgayoc.

A todos los profesionales del Laboratorio del Agua de la Región Cajamarca por habernos apoyado en los análisis fisicoquímicos de las muestras de agua y de especies vegetales para validar la conformidad de la presente investigación.

Alejandro & Homero

ÍNDICE

<i>Dedicatoria</i>	i
<i>Agradecimiento</i>	ii
ÍNDICE	iii
LISTA TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE IMAGENES	viii
LISTA DE GRÁFICOS	ix
LISTA DE MAPAS TEMÁTICOS	x
LISTA DE ANEXOS.....	x
ABREVIATURAS.....	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
1. CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.4.1. Objetivo general	2
1.4.2. Objetivos específicos.....	2
1.5. HIPÓTESIS.....	3
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1. TEORÍAS QUE SUSTENTAN LA INVESTIGACIÓN	4
2.2. BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1. El problema ambiental causado por la contaminación con metales tóxicos... 6	
2.2.1.1. Perú.....	6
2.2.1.2. Quebrada Mesa de Plata	7
2.2.2. El agua.....	9
2.2.2.1. Afectación de la calidad del agua	9
2.2.3. Problemática ambiental de aguas ácidas	9
2.2.3.1. Etapas de formación de aguas ácidas	10
2.2.3.2. Factores que influyen en el proceso de formación de aguas ácidas	12
2.2.4. Fundamento de los humedales.....	14

2.2.4.1. Sistemas de tratamiento mediante humedales aerobios.....	14
2.2.4.2. Sistemas de tratamiento mediante humedales anaerobios	18
2.2.5. Fitorremediación	22
2.2.5.1. Tipos de Fitorremediación.....	23
2.2.5.2. Criterios para la selección de plantas fitorremediadoras	25
2.2.5.3. Especies vegetales	25
2.2.6. Metales tóxicos en el medio ambiente.....	29
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	29
2.3.1. Agua	29
2.3.2. Calidad del Agua	29
2.3.3. Drenaje Acido de Mina	30
2.3.4. Fitodegradación	30
2.3.5. Fitoestabilización.....	30
2.3.6. Fitoestimulación	30
2.3.7. Fitoextracción	30
2.3.8. Fitorremediación	30
2.3.9. Fitovolatilización.....	31
2.3.10. Humedal Artificial.....	31
2.3.11. Humedales Aerobios	31
2.3.12. Humedales Anaerobios.....	31
2.3.13. Metales Tóxicos	31
2.3.14. Pasivo Ambiental Minero.....	32
2.3.15. Rizofiltración.....	32
3. CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	33
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	33
3.1.1. Investigación Aplicativa.....	33
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	33
3.3. ÁREA DE INVESTIGACIÓN	33
3.4. UNIDAD DE ANÁLISIS, UNIVERSO Y MUESTRA	35
3.1.2. Unidad de Análisis	35
3.1.3. Universo	35
3.1.4. Muestra.....	35
3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	35
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	36
3.7. ASPECTOS FÍSICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	36

3.7.1.	Ubicación.....	36
3.7.2.	Clima	37
3.7.3.	Temperatura.....	37
3.7.4.	Precipitación.....	40
3.7.5.	Hidrología.....	42
3.8.	DISEÑO DEL SISTEMA PILOTO	43
3.8.1.	Dimensionamiento del SAPS	43
3.8.2.	Criterios para dimensionar el SAPS	44
3.8.2.1.	Calculo del Área Superficial del SAPS	45
3.8.2.2.	Cálculo de las longitudes del SAPS	46
3.8.3.	Cálculo del Flujo Hidráulico del SAPS.....	47
3.8.3.1.	Velocidad de flujo	49
3.8.3.2.	Velocidad de Filtrado	49
3.8.3.3.	Tiempo de residencia del SAPS	50
3.8.4.	Dimensionamiento de la Balsa de Decantación	51
3.8.5.	Dimensionamiento del Humedal Aerobio	52
3.8.5.1.	Cálculo de carga metálica para el hierro	53
3.8.5.2.	Cálculo de carga metálica para el manganeso	53
3.8.5.3.	Cálculo para área de humedal aerobio.....	53
3.8.5.4.	Cálculo de las longitudes del humedal	54
3.8.5.5.	Tiempo de residencia por celda en el humedal.....	55
3.8.6.	Dimensionamiento de la Balsa de Recepción.....	55
3.9.	METODOLOGÍA DESARROLLADA DURANTE LA INVESTIGACIÓN..	56
3.9.1.	Trabajo de campo	56
3.9.1.1.	Equipos, herramientas y materiales.....	67
3.9.2.	Trabajo de Gabinete	68
3.9.2.1.	Equipos y materiales	68
4.	CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
4.1.	ANÁLISIS DE pH	69
4.2.	ANÁLISIS DE CONDUCTIVIDAD.....	71
4.3.	ANÁLISIS DE METALES TOTALES EN AGUA	73
4.3.1.	Aluminio.....	74
4.3.2.	Arsénico.....	75
4.3.3.	Bario	76
4.3.4.	Berilio.....	77

4.3.5. Cadmio	78
4.3.6. Cobre	79
4.3.7. Cromo Total	80
4.3.8. Hierro.....	81
4.3.9. Litio	82
4.3.10. Magnesio	83
4.3.11. Manganeso.....	84
4.3.12. Níquel	85
4.3.13. Plomo.....	86
4.3.14. Zinc.....	87
4.4. REMOCIÓN DE METALES TÓXICOS EN AGUA	88
4.5. ANÁLISIS DE METALES TOTALES EN PLANTAS.....	89
4.5.1. Resultados de Absorción de Metales Totales en Plantas.....	90
4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	92
4.6.1. Análisis de tendencia central y de dispersión.....	92
4.6.2. Análisis de la prueba estadística Z	93
5. CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
5.1. CONCLUSIONES	95
5.2. RECOMENDACIONES.....	97
6. CAPITULO VI: LISTA DE REFERENCIAS	98
7. CAPITULO IX: ANEXOS	105

LISTA TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la <i>Thypha sp</i>	27
Tabla 2. Taxonomía de la <i>Cortaderia selloana</i>	28
Tabla 3. Taxonomía del <i>Eichhornia crassipes</i>	29
Tabla 4. Operacionalización de las variables	35
Tabla 5. Variables, Técnicas e instrumentos de investigación.....	36
Tabla 6. Ubicación del área de investigación.....	37
Tabla 7. Estación Chugur temperatura promedio Mensual – Multianual	38
Tabla 8. Estación Bambamarca temperatura promedio Mensual – Multianual ...	39
Tabla 9. Estación Chugur precipitación acumulada Mensual – Multianual	40
Tabla 10. Estación Bambamarca precipitación acumulada Mensual-Multianual	41
Tabla 11. Valores de Acidez total y pH	45
Tabla 12. Datos para el cálculo del área del SAPS	45
Tabla 13. Valores aproximados de conductividad hidráulica.	47
Tabla 14. Valores para calcular el flujo hidráulico	48
Tabla 15. Valores representativos de porosidad y rendimiento específico.	49
Tabla 16. Cálculo del tiempo de residencia del SAPS	51
Tabla 17. Cálculo para la balsa de decantación	52
Tabla 18. Valores de concentración de Fe y Mn de la estación HSE-3	53
Tabla 19. Cálculo del tiempo de residencia del humedal.....	55
Tabla 20. Cálculo para la balsa de recepción	55
Tabla 21. Análisis de pH en el sistema de fitorremediación.....	69
Tabla 22. Análisis de conductividad en el sistema de fitorremediación.....	71
Tabla 23. Análisis de metales totales en agua del sistema de fitorremediación ..	73

Tabla 24. Remoción de metales tóxicos en agua	88
Tabla 25. Análisis de metales totales en plantas del sistema de fitorremediación	89
Tabla 26. Resultados de absorción de metales totales en plantas	90
Tabla 27. Análisis de tendencia central y de dispersión	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de las etapas de formación de aguas ácidas	10
Figura 2. Disposición de celdas y circulación del agua en un humedal aerobio..	15
Figura 3. Variables que se consideran en el diseño de un humedal.....	16
Figura 4. Disposición de las capas en un humedal anaerobio.....	19
Figura 5. Ingreso de oxígeno a través de las raíces de las plantas del humedal. .	20
Figura 6. Vista en perfil de un SAPS	43
Figura 7. Distribución de muestreo Z para prueba de hipótesis nula.....	94

LISTA DE IMAGENES

Imagen 1. Muestreo de aguas ácidas en la quebrada Mesa de Plata	56
Imagen 2. Excavación de celdas del humedal.....	56
Imagen 3. Verificación de la profundidad excavada.....	57
Imagen 4. Perfilado vertical de celdas del humedal.....	57
Imagen 5. Relleno y nivelación de celdas	58
Imagen 6. Distribución de arena	58
Imagen 7. Distribución de grava caliza.....	59
Imagen 8. Distribución del sustrato orgánico.....	59
Imagen 9. <i>Typha spp</i>	60

Imagen 10. <i>Cortaderia selloana</i>	61
Imagen 11. <i>Eichhornia crassipes</i>	62
Imagen 12. Vista del SAPS	63
Imagen 13. Sistema piloto de fitorremediación	64
Imagen 14. Incorporación de agua ácida al sistema piloto	65
Imagen 15. Monitoreo en el afluente del sistema piloto	66
Imagen 16. Monitoreo en el efluente del sistema piloto	66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Estación Chugur temperatura promedio multianual	38
Gráfico 2. Estación Bambamarca temperatura promedio multianual	39
Gráfico 3. Estación Chugur precipitación acumulada multianual	41
Gráfico 4. Estación Bambamarca precipitación acumulada multianual	42
Gráfico 5. Análisis de pH en el sistema de fitorremediación.....	70
Gráfico 6. Análisis de conductividad en el sistema de fitorremediación	72
Gráfico 7. Análisis de Aluminio	74
Gráfico 8. Análisis de Arsénico	75
Gráfico 9. Análisis de Bario.....	76
Gráfico 10. Análisis de Berilio.....	77
Gráfico 11. Análisis de Cadmio	78
Gráfico 12. Análisis de Cobre	79
Gráfico 13. Análisis de Cromo Total	80
Gráfico 14. Análisis de Hierro	81
Gráfico 15. Análisis de Litio	82
Gráfico 16. Análisis de Magnesio	83

Gráfico 17. Análisis de Manganeso	84
Gráfico 18. Análisis de Níquel	85
Gráfico 19. Análisis de Plomo	86
Gráfico 20. Análisis de Zinc	87

LISTA DE MAPAS TEMÁTICOS

Mapa N° 1. Ubicación de la Quebrada Mesa de Plata – Provincia de Hualgayoc 34

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Plano del Sistema Piloto de Fitorremediación	105
Anexo 2. Informe de Ensayo de Agua Superficial de la Quebrada Mesa de Plata – Golfields.....	106
Anexo 3. Informe de Ensayo de pH y Acidez de la Quebrada Mesa de Plata.....	108
Anexo 4. Informe de Ensayo de Agua Tratada.....	110
Anexo 5. Informe de Ensayo de Plantas	116
Anexo 6. ECA-2017-Categoría 3. Riego de Vegetales y Bebida de Animales ...	122

ABREVIATURAS

CaCO ₃	Carbonato de Calcio
DAMs	Drenaje Ácido de Mina
ECAs	Estándares de Calidad Ambiental
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
EPA	Agencia de Protección Ambiental
HME-1	Estación de Monitoreo Ubicado en el Tramo Medio del Área de Drenaje de la Quebrada Mesa de Plata
HMI- 29	Estación de Monitoreo de Afloramiento de agua históricamente impactado, ubicado en la parte alta del área de escurrimiento de la Quebrada Mesa de Plata.
HSE-3	Estación de monitoreo ubicado en el rio Hualgayoc, Aguas abajo de la confluencia con la Quebrada Mesa de Plata.
m.s.n.m	Metros sobre el Nivel del Mar.
mg/L	Miligramos por Litro
MINSA	Ministerio de Salud del Perú
pH	Potencial hidrógeno
PLT	Planta de Tratamiento de Agua Residual
SAPS	Sistema de producción sucesiva de alcalinidad
UTM	Universal Transversal Mercator
μS/cm	Microsiemens por Centímetro
LCM	Límite de cuantificación del método

ME-1	Muestreo en la entrada del sistema piloto en el primer día
MS-1	Muestreo en la salida del sistema piloto en el primer día
MS-2	Muestreo en la salida del sistema piloto en el segundo día
MS-3	Muestreo en la salida del sistema piloto en el tercer día
MS-4	Muestreo en la salida del sistema piloto en el cuarto día
MS-5	Muestreo en la salida del sistema piloto en el quinto día
MS-6	Muestreo en la salida del sistema piloto en el sexto día
MS-7	Muestreo en la salida del sistema piloto en el séptimo día
MS-8	Muestreo en la salida del sistema piloto en el octavo día
MS-9	Muestreo en la salida del sistema piloto en el noveno día
MS-10	Muestreo en la salida del sistema piloto en el décimo día
MS-11	Muestreo en la salida del sistema piloto en el onceavo día
MS-12	Muestreo en la salida del sistema piloto en el doceavo día
MS-13	Muestreo en la salida del sistema piloto en el treceavo día
MS-14	Muestreo en la salida del sistema piloto en el catorceavo día
MS-15	Muestreo en la salida del sistema piloto en el quinceavo día
MS-16	Muestreo en la salida del sistema piloto en el dieciseisavo día
MS-17	Muestreo en la salida del sistema piloto en el diecisieteavo día
MS-18	Muestreo en la salida del sistema piloto en el dieciochoavo día
MS-19	Muestreo en la salida del sistema piloto en el diecinueveavo día

RESUMEN

Esta investigación tuvo como propósito desarrollar un sistema piloto de fitorremediación a partir de especies vegetales: *Typha spp* (Totora), *Cortaderia selloana* (Pasto de pampas) y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) aplicada a la remoción de metales tóxicos para descontaminar el agua ácida de los pasivos ambientales mineros de la quebrada Mesa de Plata en la Provincia de Hualgayoc.

En este estudio se presentan la capacidad de absorción que tienen las especies vegetales para reducir la toxicidad de la carga contaminante del agua ácida de los pasivos ambientales mineros. La *Cortaderia selloana* presenta una acumulación de 452.1mg/Kg Al, 5.62 mg/Kg As, 2.41mg/Kg Ba, 1217.6 mg/Kg Ca, 0.14mg/Kg Cr, 547.4mg/Kg Fe, 235.1 mg/Kg Mn, 0.13 mg/Kg Mo, 10.58 mg/Kg Na, 25.18 mg/Kg Pb, 0.7mg/Kg Sb, 8.48 mg/Kg Sr, 2.55 mg/Kg Ti, 1.36 mg/Kg V y 134.48 mg/Kg Zn; mientras que la *Typha spp* presenta una acumulación de 1.76 mg/Kg As, 1057.7 mg/Kg Ca, 285 mg/Kg P, 0.32 mg/Kg Pb, 37.12 mg/Kg Sn, 9.01 mg/Kg Sr y 119.85 mg/Kg Zn y el *Eichhornia crassipes* 0.41 mg/Kg As, 4206.2 mg/Kg Ca, 6.66 mg/Kg Cu, 20.7 mg/Kg Fe, 2974 mg/Kg K, 397.9 mg/Kg Mn, 2.62 mg/Kg Sn, 1.66 mg/Kg Tl y 734.65 mg/Kg Zn; indicando que la *Cortaderia selloana* es la especie que asimila mejor los metales tóxicos durante 19 días de tratamiento del agua ácida con flujo continuo.

Se logró reducir la concentración en un 97% de Aluminio, 100 % de Arsénico, 81 % de Cadmio, 100% de Cobre, 100% Cromo Total, 99% de Hierro, 71% de Manganeso, 29% de Sodio, 83% de Níquel, 99% Plomo, 38% de Sílice, 78% de Talio, 77% de Vanadio y 56% de Zinc con un tiempo de residencia hidráulica equivalente a 2 días y elevándose un pH en el orden de 4.79 a 7.16 demostrando que estas concentraciones están por debajo de los estándares de calidad ambiental (ECA) para aguas - categoría 3

Palabras clave: Sistema piloto, fitorremediación, especies vegetales, metales tóxicos, agua ácida, pasivos ambientales mineros, toxicidad, absorción, residencia hidráulica.

ABSTRACT

The purpose of this research was to develop a pilot system of phytoremediation from plant plants: *Typha spp* (Totora), *Cortaderia selloana* (Pampas grass) and *Eichhornia crassipes* (Water hyacinth) applied to the removal of toxic metals to decontaminate acidic water of the environmental liabilities of the Quebrada Mesa de Plata in the Province of Hualgayoc.

In this study we present the absorption capacity of plant species to reduce the toxicity of the pollutant load of acidic water from mining environmental liabilities. The *Cortaderia selloana* presents an accumulation of 452.1mg / Kg Al, 5.62 mg / Kg As, 2.41mg / Kg Ba, 1217.6 mg / Kg Ca, 0.14mg / Kg Cr, 547.4mg / Kg Fe, 235.1 mg / Kg Mn, 0.13 mg / Kg Mo, 10.58 mg / Kg Na, 25.18 mg / Kg Pb, 0.7mg / Kg Sb, 8.48 mg / Kg Sr, 2.55 mg / Kg Ti, 1.36 mg / Kg V and 134.48 mg / Kg Zn; whereas *Typha spp* presents an accumulation of 1.76 mg / Kg As, 1057.7 mg / Kg Ca, 285 mg / Kg P, 0.32 mg / Kg Pb, 37.12 mg / Kg Sn, 9.01 mg / Kg Sr and 119.85 mg / Kg Zn and *Eichhornia crassipes* 0.41 mg / Kg As, 4206.2 mg / Kg Ca, 6.66 mg / Kg Cu, 20.7 mg / Kg Fe, 2974 mg / Kg K, 397.9 mg / Kg Mn, 2.62 mg / Kg Sn, 1.66 mg / Kg Tl and 734.65 mg / Kg Zn; indicating that *Cortaderia selloana* is the species that best assimilates toxic metals during 19 days of treatment of acidic water with continuous flow.

The concentration was reduced by 97% of Aluminum, 100% of Arsenic, 81% of Cadmium, 100% of copper, 100% of Total Chromium, 99% of Iron, 71% of Manganese, 29% of Sodium, 83% of Nickel, 99% Lead, 38% Silica, 78% Thallium, 77% Vanadium and 56% Zinc with a hydraulic residence time equivalent to 2 days and raising a pH in the order of 4.79 to 7.16 demonstrating that these concentrations are below the environmental quality standards (ECA) for waters - category 3

Key words: Pilot system, phytoremediation, plant species, toxic metals, acid water, environmental mining liabilities, toxicity, absorption, hydraulic residence.

INTRODUCCIÓN

Los pasivos ambientales caracterizados en Hualgayoc son resultado de las labores de la antigua minería, en su mayoría generan drenajes ácidos que durante décadas significan un problema aún por resolver, durante este periodo han surgido una serie de conflictos socioambientales en lucha y protesta sobre la problemática ambiental reflejada en la afectación de la calidad de los recursos hídricos de la cuenca del río Hualgayoquino alertando la presencia de sustancias tóxicas con valores que superan los ECAs, lo que representan un riesgo ambiental para la salud del ecosistema y la población cercana (*adaptado de GFLC 2012*).

En los últimos años en Hualgayoc vienen realizándose diferentes obras de remediación ambiental, los que en su mayoría se han centrado en procesos de estabilidad física, estabilidad hidrológica y revegetación, solo han permitido mejorar el impacto visual de la cobertura terrestre. Hasta la fecha no se registra una óptima remediación que incluya la estabilidad hidrogeoquímica; como el caso de la remediación de pasivos Mesa de Plata, los cursos de agua ácida de las bocaminas discurren a dicha quebrada.

Con referencia al mencionado problema se logró desarrollar el sistema piloto de fitorremediación con especies vegetales (*Typha spp*, *Cortaderia selloana* y *Eichhornia crassipes*). Siendo la primera iniciativa de trabajo de investigación de tesis en Hualgayoc, basado en principios de biotecnología ambiental aplicado al tratamiento de aguas ácidas de pasivos ambientales mineros.

1. CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La explotación minera en el pasado Hualgayoquino correspondió a pequeña minería, que por tener baja rentabilidad y poca formalidad no pudo asumir compromisos de remediación ambiental con el ecosistema, compromisos que hoy se ven reflejados en la problemática ambiental que atraviesa el recurso hídrico de la provincia, ocasionando efectos medioambientales que en su mayoría están generados por efluentes ácidos de pasivos ambientales.

Esta continua contaminación es producto de los pasivos ambientales (desperdicios mineros dejados por empresas mineras y el estado) abandonados por quienes durante más de dos siglos y medio dejaron a la deriva relaves mineros con alto contenido de sustancias contaminantes utilizadas en esta actividad.

La fitorremediación muestra alternativas sostenibles para la recuperación de ecosistemas hídricos afectados por contaminantes tóxicos provenientes de aguas ácidas que discurren de los pasivos ambientales mineros

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Existe efecto de las especies vegetales (*Typha spp*, *Cortaderia selloana* y *Eichhornia crassipes*) en la remoción de metales tóxicos en el agua ácida de los pasivos ambientales mineros de la Quebrada Mesa de Plata – Hualgayoc – 2017?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Las causas del deterioro del recurso hídrico en zonas adyacente a los pasivos ambientales mineros en Hualgayoc han sido y son notorias, debido a que generan gran cantidad efluentes ácidos que discurren hacia la Quebrada Mesa de Plata, afectando la calidad hídrica de esta área de estudio.

Esta investigación permitirá contribuir científicamente a la solución de este problema desarrollando un sistema piloto basado en el proceso de fitorremediación para aguas ácidas, permitiendo conocer la capacidad de absorción de las especies vegetales frente a estos efluentes, midiendo las concentraciones tanto iniciales como finales de los metales tóxicos.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la remoción de metales tóxicos utilizando especies vegetales (*Typha spp*, *Cortaderia selloana* y *Eichhornia crassipes*) en el sistema de tratamiento de aguas ácidas de los pasivos ambientales mineros de la Quebrada Mesa de Plata – Hualgayoc – 2017.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar el sistema piloto de fitorremediación para el tratamiento de aguas ácidas de los pasivos ambientales mineros de la Quebrada Mesa de Plata – Hualgayoc – 2017.
- Determinar la densidad de las especies vegetales (*Typha spp*, *Cortaderia selloana* y *Eichhornia crassipes*) aplicadas al tratamiento de aguas ácidas de los pasivos ambientales mineros de la Quebrada Mesa de Plata – Hualgayoc – 2017.

- Construir el sistema piloto de fitorremediación para el tratamiento de aguas ácidas de los pasivos ambientales mineros de la Quebrada Mesa de Plata – Hualgayoc – 2017.
- Monitorear el agua ácida del sistema de tratamiento de los pasivos ambientales mineros de la Quebrada Mesa de Plata – Hualgayoc – 2017.
- Analizar la capacidad de absorción de las especies vegetales (*Typha spp*, *Cortaderia selloana* y *Eichhornia crassipes*), aplicadas al tratamiento de aguas ácidas de los pasivos ambientales mineros de la Quebrada Mesa de Plata – Hualgayoc – 2017.
- Comparar los resultados finales de la fitorremediación con los estándares de calidad ambiental (ECA) para aguas - categoría 3.

1.5. HIPÓTESIS

Hipótesis Alternativa (H_A)

El sistema piloto de fitorremediación con especies vegetales (*Typha spp*, *Cortaderia selloana* y *Eichhornia crassipes*) reducirá la concentración de metales tóxicos en agua ácida de la Quebrada Mesa de Plata – Hualgayoc – 2017.

Hipótesis Nula (H₀)

El sistema piloto de fitorremediación con especies vegetales (*Typha spp*, *Cortaderia selloana* y *Eichhornia crassipes*) no reducirá la concentración de metales tóxicos en agua ácida de la Quebrada Mesa de Plata – Hualgayoc – 2017.

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. TEORÍAS QUE SUSTENTAN LA INVESTIGACIÓN

En estudios recientes se ha demostrado que la fitorremediación es una solución prometedora para la limpieza de sitios contaminados por una variedad de metales tóxicos, aunque también tiene una serie de limitaciones, además, es un proceso de descontaminación que involucra el empleo de plantas que pueden remover, transferir, estabilizar, descomponer y/o degradar contaminantes de suelo, sedimentos y agua, como solventes, plaguicidas, hidrocarburos poli aromáticos, metales pesados, explosivos, elementos radiactivos, fertilizantes, para hacerlos más biodisponibles para la planta (*McGrath et al., citador por Sierra 2006*).

Según *Núñez et al. (2004)*, En los últimos años se ha generado una terminología nueva basada en el papel que tienen las plantas durante el proceso de remediación, así como de los principales mecanismos involucrados.

Una alternativa al tratamiento convencional de los drenajes ácidos de minas de carbón y metálica tanto si las instalaciones se encuentran en operación o en abandono, lo constituyen los métodos de tratamiento pasivo, debido a su bajo coste, fácil operación y mantenimiento, y gran eficiencia en el tratamiento de aguas ácidas (*Aduvire 2006*).

Para Los humedales construidos se han considerado como una de las posibles soluciones a largo plazo del drenaje ácido de la mina. Varias investigaciones han revelado los resultados positivos con respecto al uso de humedales artificiales para tratar las aguas contaminadas por actividades mineras (*Gamonal 2004*).

Según *Hammer, citador por Gamonal (2004)*, Debido a sus características cómodas, los humedales construidos están siendo utilizados en muchos países alrededor del mundo mejorando la calidad del agua del drenaje ácido de mina. Para dar tratamiento de estos problemas ambientales se han planteado soluciones innovadoras basadas en fitorremediación a través de especies vegetales.

Según la investigación hecha por *Ocrospoma (2011)*, muestra una investigación a través de Biorremediación de Drenaje Ácido de Mina mediante el sistema de Humedales con *Typha spp.* Donde resume los resultados de las diferentes investigaciones que se han realizado sobre el tratamiento de Drenajes Ácidos de Minas (DAMs), como son los casos de Antamina, Orcopampa, Mesapata y Pan American Silver S.A.C. – Quiruvilca. (p. 6)

Ocrospoma (2011) señalan lo siguiente:

En el caso del humedal de Antamina los resultados demuestran que la eficiencia del humedal en la reducción de concentración de metales, entre los más importantes es Cu de 0.013 mg/l a 0.005 mg/l, Pb de 0.013 mg/l a 0.005 mg/l, Zn de 0.066 mg/l a 0.040 mg/l, y Fe de 0.340 mg/l a 0.031 mg/l. (p. 39)

En el caso de Orcopampa Cu de 4.8 mg/l a 0.03 mg/l, Pb de 0.08 mg/l a 0.19 mg/l, Zn de 9.3 mg/l a 0.35 mg/l, y Fe de 68.56 mg/l a 0.44 mg/l. (p.42)

En el caso de la planta concentradora de Mesapata, cobre disuelto se encuentra muy por debajo del límite establecido (0,42 mg/l frente al límite de 2 mg/l), el plomo disuelto se encuentra por debajo del límite de vertido (0,48 mg/l frente al límite de 1 mg/l), el zinc disuelto se encuentra muy por debajo del límite de vertido (0,8 mg/l frente el límite de 6 mg/l) y el hierro disuelto se encuentra

muy por debajo de límite de vertido (0,081 mg/l frente al límite establecido de 5 mg/l). (p. 42)

En el caso de Pan American Silver S.AC-Quiruvilca., Se logró reducir la concentración en un 80 % de plomo, 90 % de zinc, 99 % de hierro y el 99 % para el cobre, con un tiempo de residencia hidráulica de dos días y elevándose un pH en el orden de 4.48 a 6.73. (p. 48)

En resumen, la tecnología de tratamiento con humedales todavía no está siendo aplicada en nuestro país, pero algunos experimentos para emplear el tratamiento pasivo han sido realizados. Evaluando la capacidad de suelo y tomando en cuenta los recursos económicos que se pueden ahorrar, los humedales pueden ser considerados como un método eficaz en tratamiento de aguas ácidas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. El problema ambiental causado por la contaminación con metales tóxicos

2.2.1.1. Perú

Nina (2008:14-15) señala lo siguiente:

Como en la mayoría de países, no todas las minas en el Perú producen ácido. Existen factores principales que tienden a contribuir al potencial de generación de ácido y a la calidad del drenaje ácido de las minas en el Perú.

- La compleja configuración geológica, principalmente, en lo referente a vetas.
- La variada mineralogía con potencial para contribuir con diferentes contaminantes en el tiempo, y en diferentes lugares.

Según *MINSA (2017)*, En nuestro país entre los principales agentes contaminantes identificados tenemos: el plomo, mercurio, aluminio, arsénico, magnesio, manganeso, hierro, cobre, cianuro. Agregándose a estos metales pesados el dióxido de azufre, y el ácido sulfúrico (R.M. N° R.M. N° 525-2005/MINSA).

Adicionalmente a ello tenemos la presencia cada vez mayor de las poblaciones ubicadas dentro del área de influencia de las actividades productivas entre ellas la minería y el mayor conocimiento sobre el impacto ambiental y los riesgos a la salud ocasionados por los diferentes metales pesados y otras sustancias químicas (*MINSA 2017*).

Para mejorar el impacto ambiental causado por los drenajes ácidos de las minas de nuestro país se han desarrollado programas ambientales en los cuales se invierten grandes cantidades de dinero, pero la mayoría de estos tratamientos son químicos, sin desmerecer el efecto positivo del mismo, sin embargo se puede tener significativos ahorros con la implantación de sistemas biológicos tanto de fitorremediación como de biorremediación adaptadas a las situaciones específicas de cada drenaje ácido (*Nina 2008: 15*).

2.2.1.2. Quebrada Mesa de Plata

Según *GFLC (2012)*, En su 7ta modificación del EIA de cerro corona menciona que la parte alta, de la Quebrada Mesa de Plata presenta una serie de labores cerradas y en abandono entre las cuales se encuentra la bocamina Arpón (cerrada por su titular) y aguas abajo de la misma la mina Pozos Ricos; asimismo, existe un afloramiento de agua impactado con aguas que presentan pH ácido, y concentraciones significativas de sulfatos y metales (estación HMI-

29) que influirían también en la calidad del agua de la quebrada. La Quebrada Mesa de Plata recibe, también en su parte alta, en su calidad de cuerpo receptor autorizado, descargas provenientes de las operaciones de Cerro Corona, las cuales son el efluente tratado de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas PLT-Arpón (estación de monitoreo AR-2) y el efluente tratado del Sistema de Floculación y Sedimentación Mesa de Plata (estación de monitoreo EF-7). Es destacable cómo a través de la descarga de efluentes provenientes de instalaciones de Cerro Corona, la carga química que la quebrada arrastra a su paso por las zonas mineralizadas mencionadas se ve apreciablemente reducida por fenómenos de dilución y neutralización. *(p. 34)*

En su tramo medio, el agua de la Quebrada Mesa de Plata recibe por su margen izquierda, la influencia de la descarga del efluente que se colecta en una zona de antiguas operaciones mineras de terceros, caracterizada por la estación de monitoreo EF- Colquirrumi, y del agua del manantial impactado en su calidad ubicado cercano a esta zona de pasivos ambientales, el cual ha sido caracterizado mediante la estación de monitoreo HME-1. Se asume que este manantial ha sido impactado por la presencia de pasivos ambientales, y presenta elevada acidez (bajo pH) y elevada carga de metales disueltos (cadmio, cobre, hierro, manganeso, níquel y plomo; entre otros), así como de sulfatos y sólidos totales disueltos productos de la generación de drenaje ácido. En su parte baja, la Quebrada Mesa de Plata, cerca al pueblo de Hualgayoc, atraviesa también una serie de labores mineras antiguas, aguas abajo de la cual confluye con el río Hualgayoc (*GFLC 2012*).

2.2.2. El agua

La hidrología es el parámetro más importante en el diseño de un humedal artificial, al igual que la cinética de la remoción de contaminantes. El agua es la encargada del transporte de los contaminantes y en la cual se van a producir la mayoría de las reacciones responsables de la depuración. Las condiciones hidrológicas afectan a muchos factores abióticos, entre ellos el estado oxidativo del lecho, la disponibilidad de los nutrientes y la salinidad. Estos factores abióticos, a su vez, determinan qué seres vivos van a desarrollarse en el humedal y para completar el ciclo, los componentes bióticos actúan alterando la hidrología y otras características fisicoquímicas del humedal (*Estrada 2010*).

2.2.2.1. Afectación de la calidad del agua

Las alteraciones físicas corresponden a variaciones de la calidad natural de las aguas (color, olor, sabor y temperatura). Además las alteraciones químicas del agua suelen presentar metales pesados que pueden ser de origen orgánico e inorgánico y las alteraciones biológicas se ocasionan por la presencia de microorganismos patógenos (*Medina y Peralta 2015: 25*).

2.2.3. Problemática ambiental de aguas ácidas

La presencia de aguas ácidas en el medio ambiente está vinculada a los procesos de actividades en explotación minera y por la acción de los pasivos ambientales en abandono, los que forman escorrentías superficiales ácidas, produciendo alteración en el ciclo hidrológico, en la calidad del agua superficial y subterránea y en la vida de especies acuáticas (flora y fauna). Además un ecosistema alterado en su calidad biótica, representando un impacto

paisajístico y mostrando un comportamiento fisiológico como: la inexistencia de vida acuática, el color y la toxicidad de las aguas.

2.2.3.1. Etapas de formación de aguas ácidas

Según *Chaparro (2015)*, señala que el proceso de formación del agua ácida de mina se origina cuando los minerales sulfurados como la piritita se exponen a los efectos del oxígeno y el agua. Esto sucede cuando se hace remoción de material como apertura de tajos, túneles, se acopian estériles de mina, se disponen los relaves sin ningún tipo de control de ingeniería.

Según *Aduvire (2006)*, El proceso de formación de aguas ácidas, en su conjunto, se puede explicar en tres etapas:

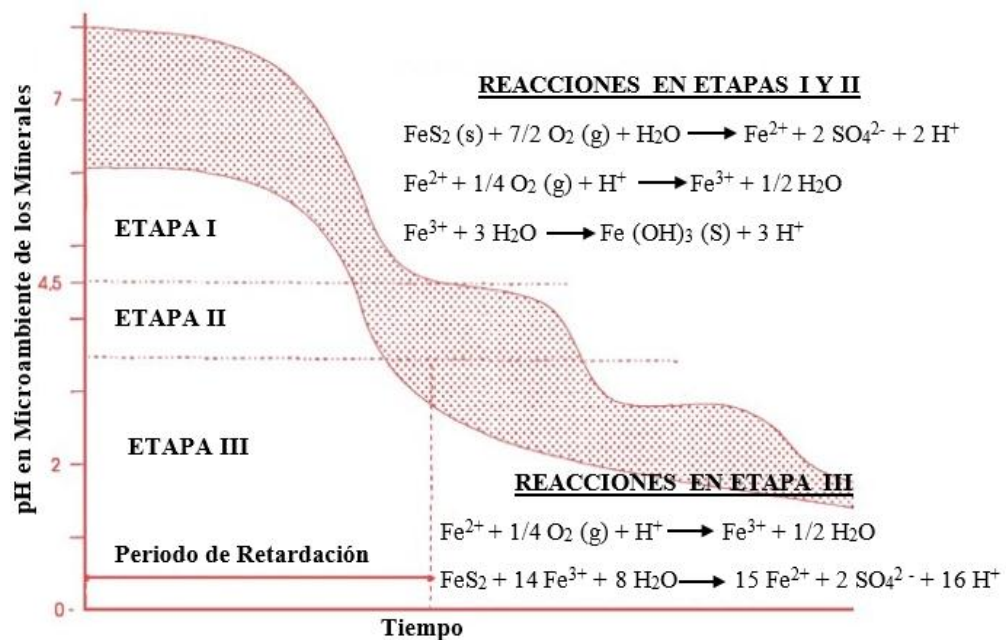


Figura 1. Esquema de las etapas de formación de aguas ácidas

Fuente: (Aduvire, 2006).

1ª etapa. La oxidación de minerales sulfurados libera hierro ferroso que bajo condiciones neutras se oxida químicamente y se transforma a hierro férrico que

precipita como hidróxido y aporta acidez al medio. En esta etapa del proceso la velocidad de oxidación es baja en los dos mecanismos de generación ácida (directa e indirecta) y la formación de aguas ácidas por oxidación debida al aire y a las bacterias (fundamentalmente Thiobacillus ferrooxidans) se producen a un ritmo semejante. Por lo general, la alcalinidad disponible en el medio es suficiente para neutralizar parcialmente la acidez que se ha producido lentamente (*Aduvire 2006:9*).

2ª etapa. La acidez acumulada supera la capacidad de neutralización del medio y el pH desciende y predomina la oxidación de la pirita por la acción bacteriana. En la reacción se produce el sulfato ferroso que al ser oxidado nuevamente se transforma en sulfato férrico, y éste a su vez en contacto con el agua da lugar al ácido sulfúrico y al hidróxido férrico, que es insoluble y es el que provoca la coloración amarilla de las aguas. En esta etapa disminuye la eficacia del mecanismo directo (oxidación por el aire) y aumenta mucho la del indirecto (*Aduvire 2006:10*).

3ª etapa. Cuando el pH desciende por debajo de 3 en la proximidad de los granos de pirita (aproximadamente 4,5 en el agua), el ion férrico se ve afectado por las reacciones de oxidación – reducción y la acción bacteriana puede lixiviar el sulfuro de hierro directamente a sulfato. En esta etapa varía la generación de ácido al aumentar la solubilidad del hierro y disminuye la precipitación de hidróxido férrico. En resumen el Thiobacillus ferrooxidans oxida el ion ferroso a férrico que a su vez oxida a los sulfuros (pirita) produciendo más ácido (*Aduvire 2006*).

Según *Aduvire (2006:11)*, el mecanismo más importante es el indirecto, ya que es el que se autocataliza (si se inhibe la bacteria *Thiobacillus ferrooxidans* la producción de ácido se reduce al menos en un 75%).

- Si el pH del agua sube por encima de 5, igualmente se inhibe la oxidación (*p. 11*).
- Si el pH del agua desciende por debajo de 4,5 debe esperarse que todo el sulfuro de hierro termine oxidándose (*p. 11*).
- Si el pH desciende por debajo de 2,5 se establece un equilibrio en el que la actividad bacteriana se estabiliza, ya que habrá alcanzado su óptimo de desarrollo (la velocidad de reacción se habrá incrementado entre 10^5 y 10^6 veces respecto al mecanismo directo). (*p. 11*)

2.2.3.2. Factores que influyen en el proceso de formación de aguas ácidas

Aduvire (2006) señala lo siguiente:

La cantidad y calidad del drenaje ácido depende de las características fisicoquímicas de los materiales que entran en contacto con los flujos de agua.

La movilización de los metales pesados y la clase de productos generados en las reacciones están controladas. Principalmente por la geoquímica de los residuos y el agua intersticial.

Cuando baja el pH la cantidad de metales disueltos suele aumentar. Sin embargo, en determinadas condiciones químicas los metales también pueden movilizarse en pH neutros o alcalinos. Por tanto, durante la neutralización de efluentes con pH bajos se produce la precipitación de muchos de los metales solubles, pero el drenaje resultante sigue conteniendo metales residuales y productos de reacciones secundarias (*p. 11*).

El estado de las aguas ácidas puede cambiar con el tiempo, sobre todo si la capacidad de neutralización del medio se agota. Si se activa la formación de aguas ácidas conviene tomar ciertas medidas preventivas y de control para que los efluentes contaminantes que se generen estén por debajo de los niveles que pueda asimilar el medio natural, sin que se produzcan impactos significativos (*p. 11*).

Los fenómenos y parámetros que afectan a la geoquímica de aguas ácidas de mina son:

Velocidad de reacción de la piritita y otros sulfuros, oxidación e hidrólisis de Fe disuelto y otros elementos, capacidad de neutralización de los mineral y materiales, capacidad de neutralización de las aguas carbonatadas, transporte de oxígeno, movilidad de agua y vapor, permeabilidad del medio, clima y temperatura, evaporación e infiltración, acción. Catalítica de las bacterias, adsorción microbiana de metales, precipitación y disolución de los metales durante el transporte, complejos orgánicos y procesos microambientales (*p.11*).

Por lo tanto para que se formen aguas ácidas deben existir ciertas condiciones mínimas, como:

- Presencia de agua, oxígeno y hierro en cantidad suficiente.
- Presencia de cierto tipo de bacterias.
- Tiempo.

Según *Aduvire (2006)*, Si se dan las condiciones anteriores, el resultado final va a dependerde una serie de factores que son los que condicionan la cinética y el desarrollo de los procesos químicos y biológicos. Estos factores que determinan la velocidad de la generación ácida, son:

- pH
- Temperatura
- Cantidad y tamaño de los granos del mineral
- Contenido y presión parcial de oxígeno
- Composición y mineralogía del medio (actividad química del ion férrico)
- Concentración de bacterias
- Contenido de nutrientes
- Contenido tóxico y grado de saturación del agua
- Área de la superficie expuesta de los sulfuros metálicos.
- Energía de activación química requerida para iniciar la generación ácida.

2.2.4. Fundamento de los humedales

El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante (*Reed en Kolb, citador por Delgadillo 2010*).

2.2.4.1. Sistemas de tratamiento mediante humedales aerobios

Según *Aduvire (2006)*, señala lo siguiente:

En los humedales aerobios artificiales se pretende reproducir los fenómenos y procesos de los humedales naturales (pantanos, marismas, turberas, etc.), creando un ambiente propicio para el desarrollo de ciertas plantas (*Typha*, *Equisetum*, carrizo, juncos, etc.), comunidades de organismos (algas, protozoos y bacterias) y musgos (*Sphagnum*), los cuales participan en la depuración del agua. Estos humedales ocupan una gran superficie y tienen una somera lámina

de agua que inunda el substrato sobre el que se desarrolla la vegetación. El lento fluir del agua en el humedal permite alcanzar el tiempo de retención necesario para que tengan lugar los lentos procesos depuradores del agua (p.94).

Estos sistemas favorecen el contacto entre el agua contaminada y el aire atmosférico mediante el empleo de plantas acuáticas, al liberar éstas oxígeno por sus raíces y rizomas; para que la vegetación emergente actúe de este modo el espesor de la lámina de agua no debe superar los 30 cm. El substrato oxigenado del humedal propicia la formación de un hábitat para que se desarrollen ciertas colonias de bacterias que actúan como catalizadoras en la reacción de oxidación de los contaminantes presentes en el humedal, transformando en el caso del hierro el Fe^{2+} a Fe^{3+} , el cual finalmente precipita en forma de hidróxido (p.49-95).

Un sistema aerobio suele consistir en una o varias celdas conectadas por las que circula el agua lentamente por gravedad, estableciéndose un flujo horizontal superficial.

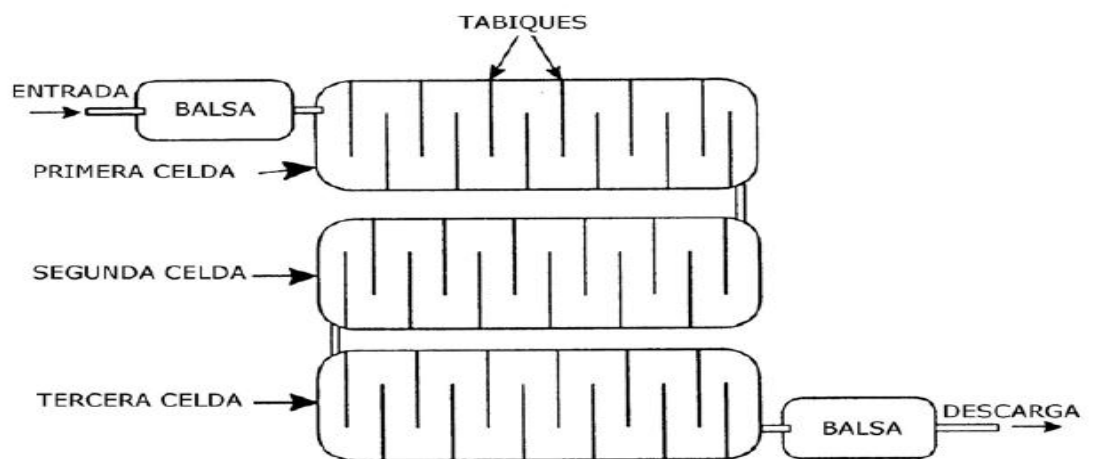


Figura 2. Disposición de celdas y circulación del agua en un humedal aerobio.

Fuente: (Aduvire 2006)

Para favorecer la oxigenación del agua y mejorar la eficiencia en el tratamiento se diseñan sistemas que incluyan cascadas, lechos serpenteantes y balsas de grandes superficies con poca profundidad en donde se implante entramados de plantas hidrófitas que cubran cerca del 40% de la superficie del humedal (*Aduvire 2006*).

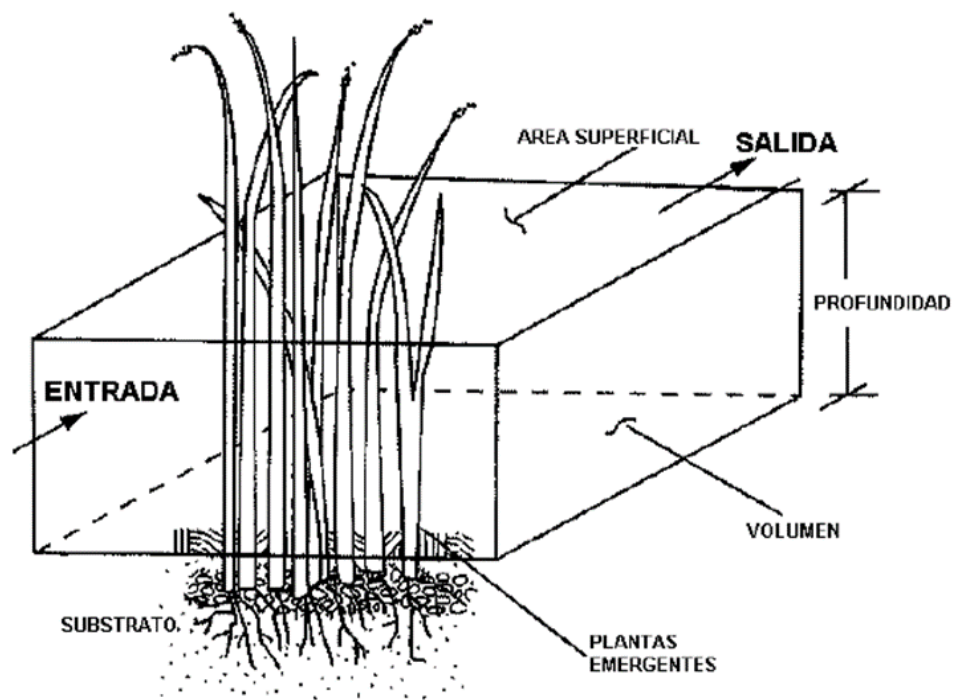


Figura 3. Variables que se consideran en el diseño de un humedal.

Fuente: (*Aduvire 2006*)

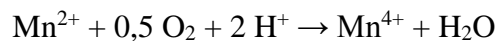
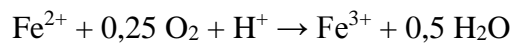
Las plantas emergentes que se emplean en los humedales pueden transferir hasta unos $45 \text{ g O}_2 / \text{m}^2/\text{día}$ a través de sus raíces y crear una zona aerobia en el substrato del humedal en donde se produce la oxidación y precipitación de metales (*Aduvire 2006*).

Según *Aduvire (2006)*, el crecimiento natural de algas en los humedales favorece la bioacumulación de metales pesados, especialmente Fe y Mn que son utilizados como macronutrientes.

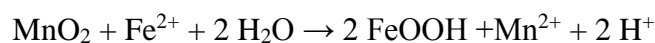
A. Procesos de un humedal aerobio.

Los procesos que se dan en un humedal aerobio, tenemos: La oxidación de metales, precipitación y co-precipitación, además de la filtración de la materia en suspensión, la adsorción de metales e intercambio iónico en los materiales del sustrato, la bioacumulación de metales en las raíces y partes emergentes de las plantas (*Aduvire 2006*).

Según *Aduvire (2006:95)*, las bacterias presentes en la columna de agua, sustrato y rizósfera (zona de raíces) pueden catalizar la oxidación de metales, particularmente la oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} y en menor medida el Mn, según las siguientes reacciones:



Aunque la cinética de remoción de hierro y manganeso en los humedales es diferente, en la práctica se ha comprobado que la remoción de Mn se paraliza cuando la concentración de Fe^{2+} es menor a 1 mg/l. Esto se atribuye a la reducción y resolubilidad de los óxidos de Mn por el Fe ferroso, según la siguiente reacción (*Aduvire 2006:96*).



En los humedales aerobios las reacciones de oxidación son los mecanismos dominantes en la remoción de metales, que precipitan como óxidos, hidróxidos y oxihidróxidos debido a la hidrólisis de Fe^{3+} , Al^{3+} y Mn^{4+} principalmente, aunque estas reacciones también generan acidez y se desarrollan a pH bajos (*p.96*).

2.2.4.2. Sistemas de tratamiento mediante humedales anaerobios

Según *Aduvire (2006)*, señala lo siguiente:

En los humedales anaeróbicos el agua ácida fluye por gravedad y el incremento del pH hasta niveles cercanos al neutro se debe a la alcalinidad de los bicarbonatos que se generan en el sistema a partir de la reducción anaerobia del sulfato y la disolución de la caliza (CaCO_3), para evitar que se produzcan procesos aerobios que desencadenen la generación de acidez metálica a través de la hidrólisis de algunos metales se recurre al pre-tratamiento del agua ácida con caliza en condiciones atmosféricas (*p.100*).

Para favorecer las condiciones anóxicas que se requieren para su correcto funcionamiento, la altura de la lámina de agua ha de superar los 30 cm. Esta lámina cubre un sustrato permeable de un espesor de 30-60 cm formado mayoritariamente por material orgánico (70-90% de estiércol, compost, turba, heno, aserrín, etc.), que está entremezclado o bien dispuesto sobre una capa de caliza. La finalidad del sustrato orgánico es eliminar el oxígeno disuelto, reducir el Fe^{3+} a Fe^{2+} , y generar alcalinidad mediante procesos químicos o con intervención de microorganismos. Sobre el conjunto de este sustrato se desarrolla la vegetación emergente característica de los humedales, la cual ayuda a estabilizar el sustrato además de aportar materia orgánica adicional (*p.100*).

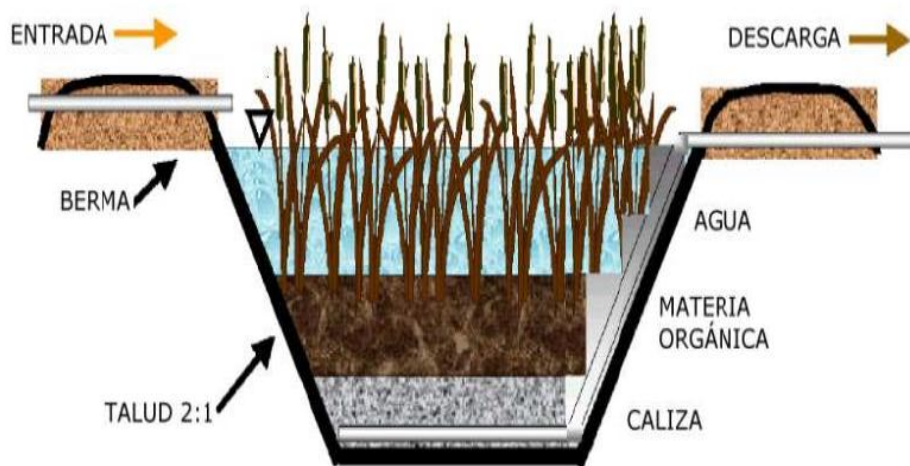


Figura 4. Disposición de las capas en un humedal anaerobio

Fuente: (Aduvire 2006)

A. Elementos principales de un humedal anaerobio.

Según *Aduvire (2006)*, estos elementos son:

- Vegetación emergente de alta productividad para reponer la materia orgánica consumida. La plantas en el humedal ayudan a precipitar y filtrar elementos en suspensión, transfieren oxígeno a través de sus raíces a la zona anaerobia del substrato (rizósfera) para oxidar metales tóxicos como el Pb que precipitan dentro del substrato y evitar su adsorción por las plantas, facilitar reacciones microbianas que incluyen oxigenación y nitrificación/desnitrificación indispensables para la vida de las plantas *(p.101)*.

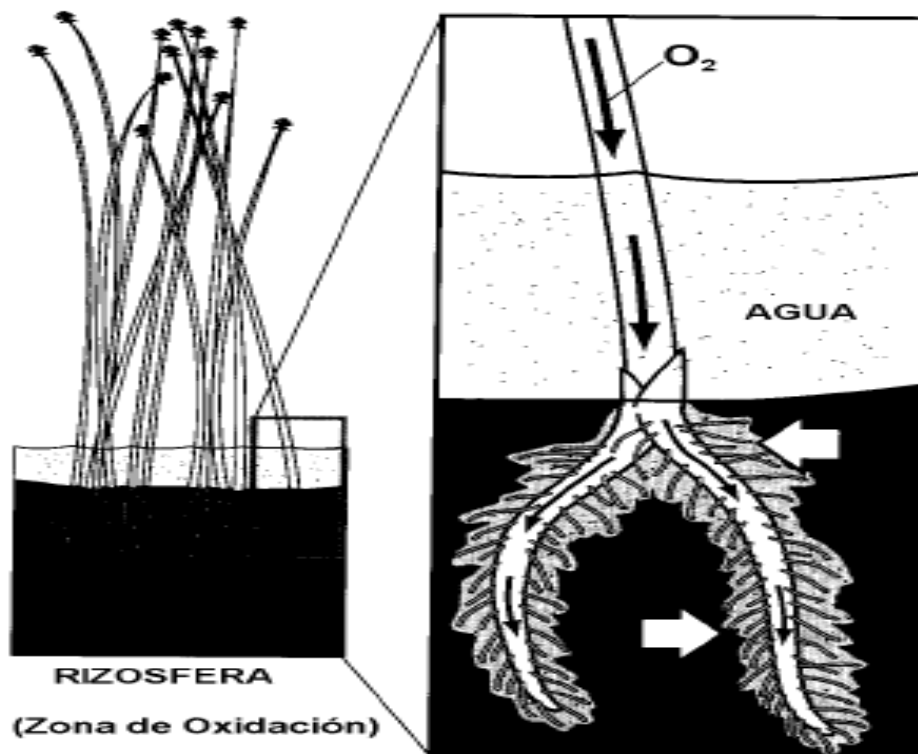


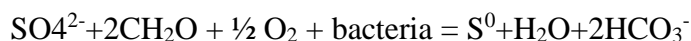
Figura 5. Ingreso de oxígeno a través de las raíces de las plantas del humedal.

Fuente: (Aduvire 2006)

- Sustrato rico en materia orgánica descompuesta (compost, turba, estiércol, mulch, otros) para iniciar y mantener los procesos de reducción del sulfato y eliminar el oxígeno disuelto en el agua. Además, la materia orgánica es una importante fuente de energía para el metabolismo microbiano.
- Altura de agua y régimen de caudales necesarios para mantener las condiciones anaerobias y facilitar el hábitat de las bacterias sulfato-reductoras.
- Disponer de un sustrato en el lecho de humedal que aporte alcalinidad al medio (caliza machacada) y ayude a neutralizar el pH.

Estos sistemas operan en permanente inundación, el agua fluye a través del substrato orgánico. En éste, se desarrollan bacterias anaerobias sulfuro-reductoras (*Desulfovibrio* y *Desulfomaculum*) capaces de utilizar su reacción con la materia orgánica del substrato (CH₂O) y el sulfato disuelto en el agua intersticial como fuente de energía para su metabolismo (*Aduvire 2006*).

Esta reducción bacteriana del sulfato genera ácido sulfhídrico, o azufre elemental, y alcalinidad mediante las siguientes reacciones (donde CH₂O es la representación genérica de la materia orgánica) (*Skousen et al., citado por Aduvire 2006*).



La remoción de metales en humedales anaerobios se debe a una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos que incluyen la dilución, dispersión, oxidación/reducción, precipitación/co-precipitación, adsorción e intercambio iónico, que tienen lugar entre los sedimentos en suspensión y el sustrato del humedal en donde conviven microorganismos, algas y la vegetación. De estos procesos, la precipitación de óxidos, hidróxidos u oxihidróxidos metálicos remueve metales de la columna de agua y los incorpora y acumula en los sedimentos del humedal. La mayoría de estos oxihidróxidos tienen baja solubilidad a pH 6 y 10, pero, la redisolución de los metales contenidos en los precipitados está controlada por el contenido de oxígeno disuelto y el potencial redox (*Aduvire 2006*).

En menor medida la remoción de metales en humedales anaerobios, también se puede producir mediante complejos mecanismos de quelación entre iones

metálicos y la materia orgánica, así como por bioacumulación por bacterias, algas y plantas. Algunos microorganismos y algas tienen la habilidad de tomar metales y lo incorporan en su estructura celular. En cuanto a las plantas más empleadas destacan la Typha y el Sphagnum, aunque son algo ineficaces en la acumulación de metales si tienen alta tolerancia a vivir en medios ácidos (*Aduvire 2006*).

2.2.5. Fitorremediación

Según *EPA 1996, citado por Pastuña (2015)*. Las técnicas de fitorremediación se caracterizan por ser una práctica de limpieza pasiva y estéticamente agradable que aprovechan la capacidad de las plantas y la energía solar para el tratamiento de una gran variedad de contaminantes del medio ambiente (*p. 16*). De manera más completa, la fitorremediación representa una tecnología sustentable que utiliza las plantas para reducir la concentración de contaminantes a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz. Estos procesos conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos contaminantes (*Núñez et al, citado por Jerez 2013*).

Fitorremediación es una tecnología verde sustentable y de bajo costo para la restauración de ambientes y efluentes contaminados que se basa en el uso de la vegetación que actúa como agente descontaminador de sustancias peligrosas para el medio ambiente capaz de degradar, acumular, extraer e inmovilizar los contaminantes del suelo, aguas superficiales y subterráneas.

2.2.5.1. Tipos de Fitorremediación

A. Fitoextracción

La fitoextracción o fitoacumulación consiste en la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas. El primer paso para la aplicación de esta técnica es la selección de las especies de planta más adecuada para los metales presentes y las características del emplazamiento. Una vez completado el desarrollo vegetativo de la planta el siguiente paso es cortarlas y proceder a su incineración y traslado de las cenizas a un vertedero de seguridad (*Pastuña 2015*).

Durante la fitoextracción, los contaminantes son captados por las raíces (fitoacumulación), y posteriormente éstos son traslocados y/o acumulados hacia los tallos y hojas (fitoextracción) *Sellers citado por Volke, T y Velasco JA (2002)*.

B. Fitovolatilización

Para *Núñez et al. (2004)*, Algunas plantas son capaces de volatilizar ciertos contaminantes, como mercurio y selenio, contenidos en suelos, sedimentos o agua.

Tales contaminantes son absorbidos, metabolizados, transportados desde su raíz a sus partes superiores y liberados a la atmósfera en formas volátiles, menos tóxicas o relativamente menos peligrosas en comparación con sus formas oxidadas. La transformación de dichos elementos se efectúa básicamente en la raíz, y su liberación se lleva a cabo durante la transpiración (*p.70*).

C. Fitodegradación

Se basa en el uso de plantas para degradar o transformar en sustancias menos tóxicas diversos tipos de contaminantes orgánicos como hidrocarburos aromáticos polinucleares, hidrocarburos totales del petróleo, plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), compuestos clorados, explosivos y surfactantes (detergentes) (*Núñez et al. 2004*).

D. Fitoestimulación

Consiste en la degradación microbiana de contaminantes, activada o mejorada por la presencia de la rizosfera. Como parte de sus actividades metabólicas y fisiológicas, las plantas liberan azúcares simples, aminoácidos, compuestos alifáticos y aromáticos, nutrientes, enzimas y oxígeno, y los transportan desde sus partes superiores hasta sus raíces, favoreciendo el desarrollo de comunidades microbianas en el suelo circundante; particularmente hongos y bacterias, cuyas actividades metabólicas causan la mineralización de los contaminantes (*Núñez et al. 2004*).

E. Fitoestabilización

Según *Núñez et al. (2004)*, este tipo de estrategia utiliza plantas que desarrollan un denso sistema de raíz, para reducir la biodisponibilidad de metales y otros contaminantes en el ambiente por medio de mecanismos de secuestro, lignificación o humidificación.

Esto ocurre a través de reacciones químicas como la precipitación o formación de complejos insolubles o por mecanismos físicos, como la adsorción. En esta zona, los metales se fijan fuertemente en las raíces de las plantas o en la materia

orgánica de los suelos, limitando así su biodisponibilidad y su migración vertical hacia los mantos freáticos (*p.70*).

F. Rizofiltración

Según *Abril y Parra (2012)*. La rizofiltración consiste en la adsorción o precipitación de contaminantes en las raíces de las plantas o la absorción de contaminantes circundantes en la zona radical.

2.2.5.2. Criterios para la selección de plantas fitorremediadoras

Según *Inga (2011)*, estos criterios son:

- Tener considerable biomasa y tallos de alta densidad para obtener un máximo transporte de agua y asimilación de nutrientes.
- Ofrecer una máxima área superficial para la población microbiana.
- Tener un eficiente transporte de oxígeno hacia la zona de la raíz anaeróbica para facilitar la oxidación de metales tóxicos reducidos y suministrar rizòsforos en gran escala.
- Ser una combinación de especies que deberían suministrar una cubierta de gran envergadura sobre la amplitud de la profundidad del agua en las condiciones del terreno.

2.2.5.3. Especies vegetales

En la fitorremediación, las plantas son seleccionadas principalmente por su potencial Fisiológico, como es el caso de enzimas presentes para tolerar y asimilar sustancias tóxicas, por sus tasas de crecimiento, por la profundidad de sus raíces y su habilidad para bioacumular y/o degradar contaminantes (*Ospina et al, citado por Aulestia 2012*).

Duchicela y Toledo (2015) señalan lo siguiente:

El uso de especies vegetales en los humedales artificiales constituye un factor importante dentro del tratamiento de las aguas residuales; importancia que se le da, ya que las plantas transfieren el oxígeno desde la atmósfera hasta las raíces que se encuentran sumergidas en el material filtrante. Las plantas establecen una relación simbiótica con los microorganismos, fijando las partículas y absorbiendo los nutrientes como fósforo y nitrógeno que se encuentra en el agua residual por la presencia de detergentes y materia orgánica, que lo convierten en alimento para su crecimiento. Son varias las funciones que las plantas cumplen en el humedal como se da a conocer en los diferentes trabajos de investigación, en los que se utilizan diferentes especies para lograr la remoción de contaminantes de las aguas residuales.

A. *Typha spp*

Son plantas acuáticas helófitas, con sistema radicular arraigado en el fango o fondo del humedal, y estructura vegetativa que emerge por encima de la lámina de agua; por esa razón también se denominan macrofitas emergentes (***Curt s.f.***). Las especies vegetales tienen la habilidad de tomar metales tóxicos de aguas ácidas e incorporarlos en su estructura celular. En cuanto a las plantas más empleadas destaca la *Typha*, teniendo el potencial de acumulación de metales y tolerancia a vivir en medios ácidos (***adaptado de Gamonal 2004***).

Tabla 1. Taxonomía de la *Thypha sp*

Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta (plantas con flor)
Clase	Liliopsida
Familia	Pontederiales
Nombre científico	<i>Thypha sp</i>
Nombre común	Totora

Fuente: Elaborado con base a Pastuña (2015)

B. *Cortaderia selloana*

Planta perenne de gran porte, amacollada (formada por varios vástagos surgiendo del mismo pie), que puede alcanzar los 2 m de alto o más. Hojas de color verde glauco, dispuestas en grupos basales, de 1-3 m de largo y 1-2 cm de ancho, plegadas en v, con el borde ligeramente cerrado, rígidas y cortantes al tacto, lígulas pelosas. (*Ojeda y Mesa 2008*).

Según *Ojeda y Mesa (2008)*, estas plantas toleran bien las heladas al estar las yemas de crecimiento protegidas dentro de las grandes macollas. También soportan bien las altas temperaturas en verano y periodos de sequía moderados. Puede germinar a pleno sol, en suelos con bajo contenido en arenas y de baja disponibilidad de agua.

Tabla 2. Taxonomía de la *Cortaderia selloana*

Reino	Plantae
Subreino	Traqueobionta (plantas vasculares)
División	Magnoliophyta (plantas con flor)
Clase	Liliopsida
Familia	Poaceae
Nombre científico	<i>Cortaderia selloana</i>
Nombre común	Pasto de pampas

Fuente: Elaborado con base a Vibrans (2009).

C. *Eichhornia crassipes*

Es una planta acuática flotante no enraizada, herbácea perenne muy común en ambientes acuáticos de climas tropicales, donde muestra una gran adaptabilidad ecológica y desarrolla bien en estanques temporales, zonas húmedas, aguas contaminadas, lagos, pantanos y ríos (**Curt s.f.**).

La hoja es muy característica, el peciolo tiene apariencia de estar hinchado, es de consistencia esponjosa a razón de que contiene gran espacio aéreo, a fin de contribuir a la flotabilidad de la planta (**Curt s.f.**).

El principal limitante para el desarrollo del Jacinto de agua es la temperatura, que debe mantenerse dentro de los límites usuales del régimen tropical o subtropical. El crecimiento es rápido en el entorno de 20-30°C de temperaturas medias, pero se estanca en el intervalo de 8-15°C (**Curt s.f.**).

Tabla 3. Taxonomía del *Eichhornia crassipes*

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta (plantas con flor)
Clase	Liliopsida
Familia	Pontederiaceae
Nombre científico	<i>Eichhornia crassipes</i>
Nombre común	Jacinto de Agua

Fuente: Elaborado con base a Tapia (2009).

2.2.6. Metales tóxicos en el medio ambiente

Por metales tóxicos se entiende a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas y que no se pueden degradar por medios naturales, además que son peligrosos porque tienden a bioacumularse en el organismo pudiendo causar daños severos (*Claret et al. 2003; Metcalf; Eddy 1995, citado por Tapia 2009*).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Agua

Es un líquido inodoro e insípido, en pequeña cantidad es incoloro, y verdoso o azul en grandes masas; que refracta la luz, disuelve muchas sustancias, se solidifica por el frío, siendo el único elemento en la tierra que, tanto al congelarse o al calentarse se dilata; se evapora por el calor y, más o menos puro, forma la lluvia, los manantiales, los ríos y los mares (*Fraume 2006*).

2.3.2. Calidad del Agua

Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua (*Fraume 2006*).

2.3.3. Drenaje Acido de Mina

Es la consecuencia de la oxidación de algunos sulfuros minerales (pirita, pirrotita, marcasita, etc.) en contacto con el oxígeno del aire y agua (*Aduvire 2006*).

2.3.4. Fitodegradación

Se basa en el uso de plantas para degradar o transformar en sustancias menos tóxicas diversos tipos de contaminantes (*Núñez et al. 2004*)

2.3.5. Fitoestabilización

Según *Barton et al., citado por Pastuña (2015)*. “La fitoestabilización permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de su absorción y acumulación en las raíces o bien, por precipitación en la zona de la rizosfera”.

2.3.6. Fitoestimulación

Es el proceso por medio de cual las raíces de las plantas, su microflora asociada o los productos excretados destruyen el contaminante en la zona radicular (*Torres et al., citado por Medina y Montano 2014*)

2.3.7. Fitoextracción

Proceso por el cual, tanto los contaminantes metálicos, como los contaminantes orgánicos del suelo, son absorbidos directamente por las plantas e incorporados a su biomasa, que con posterioridad será recolectada para su destrucción (*Torres y Zuluaga 2009*).

2.3.8. Fitorremediación

Conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados, compuestos orgánicos, radioactivos y petroderivados por medio de la utilización de plantas que tengan la capacidad fisiológica y bioquímica para

absorber, retener, degradar o transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas (*Valero 2006*).

2.3.9. Fitovolatilización

Proceso por el cual las plantas y la actividad microbiana asociada, a través de enzimas especializados, pueden transformar, degradar y finalmente volatilizar los contaminantes (*Torres y Zuluaga 2009*).

2.3.10. Humedal Artificial

El humedal artificial o wetland es un sistema de tratamiento de agua residual (estanque o cauce) poco profundo, construido por el hombre, en el que se han sembrado plantas acuáticas, y contado con los procesos naturales para tratar el agua residual (*Llagas, citado por Ocrospoma 2011*).

2.3.11. Humedales Aerobios

Estos humedales se caracterizan por favorecer el contacto del agua contaminada con el aire atmosférico mediante el empleo de plantas acuáticas. Para favorecer el desarrollo de la vegetación emergente, la profundidad de estos humedales no deben superar los 30 centímetros (*Adivire 2006*).

2.3.12. Humedales Anaerobios

Son humedales que se caracterizan por inhibir el contacto del agua contaminada con el aire atmosférico, creando condiciones anoxicas requeridas para reducir el Fe^{3+} a Fe^{2+} , y generar alcalinidad mediante procesos químicos o con intervención de los microorganismos (*Adivire 2006*).

2.3.13. Metales Tóxicos

Afirmando así *Fraume (2006)*, que los metales tóxicos poseen una amplia gama de propiedades químicas y efectos biológicos. Algunos de ellos, como el

manganeso, el cobre y el zinc son elementos esenciales en la dieta y su ausencia puede provocar enfermedades serias. Otros, como el mercurio, el plomo y el cadmio, no tienen funciones biológicas y su presencia, incluso en cantidades muy pequeñas puede ser causa de envenenamiento. Actúan sobre los ecosistemas como contaminantes y son, generalmente, muy tóxicos para los organismos vivos.

2.3.14. Pasivo Ambiental Minero

Son aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonada o inactiva y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad (*Decreto Supremo N° 059-2005-EM*).

2.3.15. Rizofiltración

Según *Abril y Parra (2012)*. La rizofiltración consiste en la adsorción o precipitación de contaminantes en las raíces de las plantas o la absorción de contaminantes circundantes en la zona radical.

3. CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Investigación Aplicativa

Este tipo de investigación se enfocó en emplear un proceso de fitorremediación para el tratamiento del agua ácida generada por los pasivos ambientales mineros donde se realizó el monitoreo del agua tratada cada 24 horas por un periodo de 19 días, Además se realizó el análisis fisicoquímico tanto las muestras de agua y de especies vegetales con la finalidad de conocer la remoción de sustancias tóxicas y la capacidad de absorción de las especies vegetales

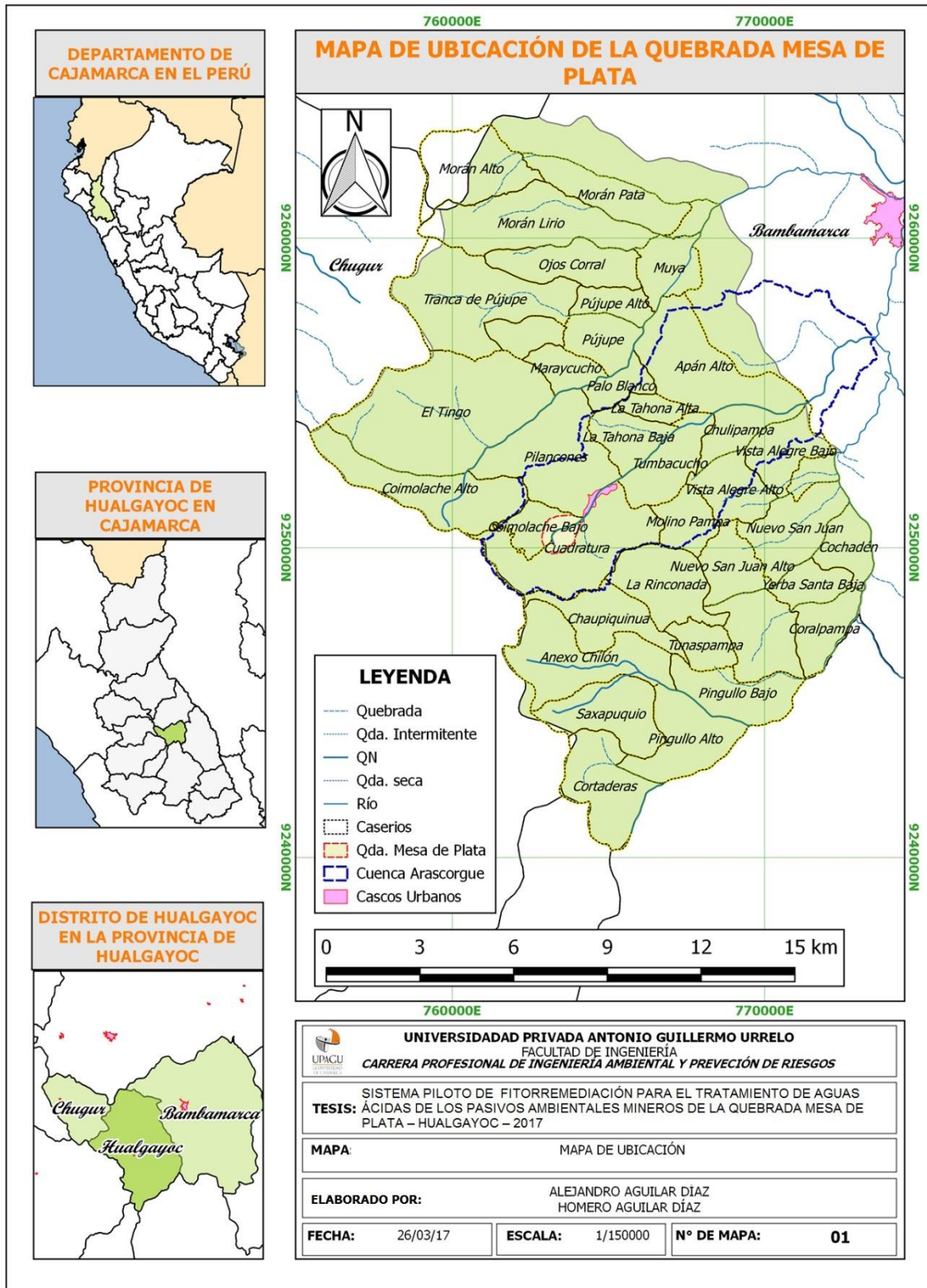
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo cuasi-experimental por existir poco control en las variables extrañas que están relacionadas con la remoción de metales tóxicos durante proceso de fitorremediación de agua ácida proveniente de los pasivos ambientales mineros. Los datos se recolectaron de los resultados de análisis fisicoquímico de aguas, finalmente es comparativo con los Estándares de Calidad de Agua (DS-004-2017-MINAM) categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.

3.3. ÁREA DE INVESTIGACIÓN

El estudio se realizó en el ámbito aguas arriba de la Quebrada Mesa de Plata que se encuentra ubicado en el tramo medio de la subcuenta del río Hualgayoc ,en dicho lugar se realizó la toma de muestras de aguas ácidas para el funcionamiento del sistema piloto de fitorremediación.

Mapa N° 1. Ubicación de la Quebrada Mesa de Plata – Provincia de Hualgayoc



Fuente: Elaborada por los autores

3.4. UNIDAD DE ANÁLISIS, UNIVERSO Y MUESTRA

3.1.2. Unidad de Análisis

Metales tóxicos aguas ácidas (mg/l)

Metales tóxicos en especies vegetales (mg/kg)

3.1.3. Universo

Quebrada Mesa de Plata

3.1.4. Muestra

Se trató un caudal de 40 ml/s de la Quebrada mesa de Plata

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 4. Operacionalización de las variables

Variables	Definición	Dimensiones	Indicador (es)
Independiente Especies vegetales	Son plantas que sirven como principal agente para absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes peligrosos para el medio ambiente	Análisis de metales tóxicos	Concentración en mg/kg
		Densidad vegetativa	Plantas/m ²
Dependiente Concentración de metales tóxicos en agua ácida	Son metales que generan toxicidad al ecosistema acuático mediante efluentes ácidos que discurren a la quebrada	Análisis de metales tóxicos	ECA-DS-004-2017-MINAM para aguas de categoría 3 (mg/l)
		Comparación de pH y conductividad del agua	Escala de pH, niveles de conductividad, μs/cm.
		Remoción de metales tóxicos	Porcentaje (%)

Fuente: Elaborado por los autores

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 5. Variables, Técnicas e instrumentos de investigación

Variables	Técnicas	Instrumentos
Independiente Especies vegetales	- Análisis comparativo de la capacidad de absorción de plantas con respecto a metales tóxicos en el agua - Observación	- Obtención de especies vegetales
Dependiente Concentración de metales tóxicos en agua ácida	- Análisis químico de metales tóxicos - ECAs para agua de categoría 3	- Análisis de documentos (EIA, inventarios de pasivos ambientales mineros) - Muestreo de aguas

Fuente: Elaborado por los autores

3.7. ASPECTOS FÍSICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.7.1. Ubicación

La Quebrada Mesa de Plata en donde se desarrolló el sistema piloto de fitorremediación está situada políticamente en el departamento de Cajamarca, Provincia y Distrito de Hualgayoc, a una distancia aproximada de 1.5 km de la misma ciudad.

Geográficamente el funcionamiento del sistema piloto de fitorremediación se enmarca entre las coordenadas siguientes:

Tabla 6. Ubicación del área de investigación

PUNTOS LIMITES	Coordenadas WGS 84 - Zona 17 S		Altitud (msnm)
	Norte(N)	Este(E)	
1	9252166	764073	3559
2	9252160	764076	3544
3	9252160	764085	3550
4	9252135	764086	3545

Fuente: Elaborado por los autores

3.7.2. Clima

Ecológicamente la zona estudiada ofrece una configuración ambiental variada por presentar un clima húmedo y frío moderado. Generalmente el periodo de lluvias comienza desde octubre hasta abril y la estación de estiaje se genera desde junio hasta septiembre. Las características de este clima se han hecho propias de los suelos permitiendo la adaptación de los seres humanos, especies animales y especies vegetales.

3.7.3. Temperatura

Para la caracterización del régimen de temperatura en la Quebrada Mesa de Plata, se contó con los datos provenientes de la estación meteorológica Chugur con promedios multianual de temperatura mínima y máxima, 9.21 °C y 19.38 °C, respectivamente. También la estación Bambamarca fluctuando con una temperatura mínima y máxima, 10.02 °C y 21.68 °C.

Tabla 7. Estación Chugur temperatura promedio Mensual – Multianual

Meses	Estación Meteorológica – Chugur						Tipo: Automática			
	Departamento: Cajamarca			Provincia: Hualgayoc			Distrito: Chugur			
	Latitud: 6° 40' 0"			Longitud: 78° 44' 0"			Altitud: 2744 msnm			
	Temperatura Promedio Mensual- Multianual (°C)									
	2013		2014		2015		2016		2017	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Enero	17.70	11.29	18.01	9.43	15.85	11.63	19.23	11.44	16.16	10.36
Febrero	17.94	10.25	17.45	10.89	17.64	10.87	18.51	8.46	17.64	9.49
Marzo	18.26	11.2	16.74	10.53	16.63	10.68	19.29	8.96	16.95	10.35
Abril	20.28	9.35	18.31	10.83	17.86	9.78	18.73	11.54	17.43	10.61
Mayo	19.72	10.38	17.48	10.65	17.59	10.93	19.53	10.70	17.72	10.92
Junio	20.13	9.36	18.89	9.63	19.16	9.39	18.93	8	18.23	9.99
Julio	19.69	7.83	19.25	8.8	19.51	8.14	19.47	8.59	18.37	8.50
Agosto	19.31	8.94	18.59	8.08	20.28	9.73	20.18	8.35	12.62	8.94
Septiembre	20.34	9.14	18.33	9.23	20	9.27	19.41	8.75	13.46	9.14
Octubre	17.21	10.34	18.39	9.25	20.43	8.29	22.33	7.76	----	----
Noviembre	19.11	8.80	17.98	11.85	18.44	9.43	20.07	9.04	----	----
Diciembre	17.70	8.64	17.56	11.24	18.30	11.13	16.87	8.95	----	----
Promedio	18.95	9.63	18.08	10.03	18.47	9.94	19.38	9.21	16.51	9.81

Fuente: Elaborado por los autores

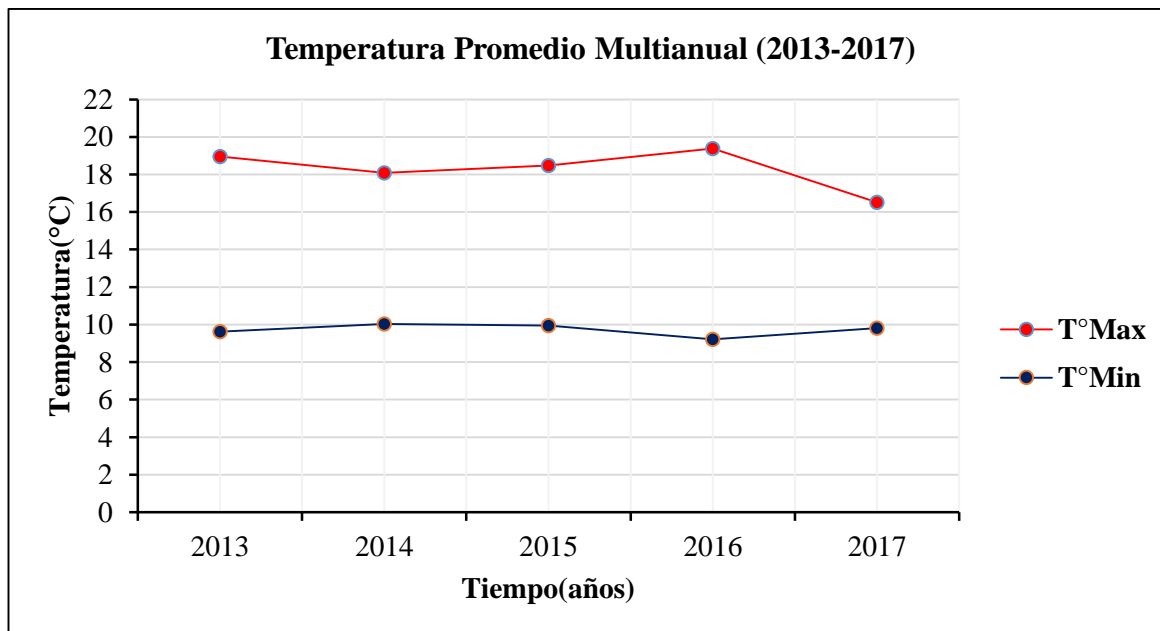


Gráfico 1. Estación Chugur temperatura promedio multianual

Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 8. Estación Bambamarca temperatura promedio Mensual – Multianual

		Estación Meteorológica-Bambamarca					Tipo: Convencional				
		Departamento: Cajamarca		Provincia: Hualgayoc		Distrito: Bambamarca					
Meses	Latitud: 6° 40' 35"		Longitud: 78° 31' 6"		Altitud: 2736 msnm						
	Temperatura Promedio Mensual-Multianual (°C)										
		2013		2014		2015		2016		2017	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Enero		19.85	12.73	20.30	11.78	19.14	12.11	22.84	12.85	21.13	8.46
Febrero		19.69	11.31	20.27	12.18	21.10	11.62	21.87	11.32	21	6.47
Marzo		20.05	12.55	19.96	11.59	20.38	12.72	21.26	12.65	20.09	7.22
Abril		20.98	12.01	20.68	11.94	20.55	12.09	21.94	12.23	20.65	7.43
Mayo		20.44	11.98	20.12	11.94	20.38	12.29	22.29	10.99	21.27	9.19
Junio		20	10.59	20.92	10.15	20.81	10	21.13	8.58	21.05	5.85
Julio		20.4	8.25	20.53	9.32	20.92	9.98	21.53	7.95	21	3.69
Agosto		20.49	10	20.80	8.77	22.33	9.17	21.96	8.98	----	----
Septiembre		21.95	9.45	20.79	10.26	19.36	11.12	21.73	9.26	----	----
Octubre		20.53	12.26	21.22	11.21	21.18	12.14	21.07	9.18	----	----
Noviembre		22.34	9.49	21.73	10.71	20.79	11.95	21.58	8.75	----	----
Diciembre		20.70	11.85	20.59	11.97	20.74	12.61	20.98	7.5	----	----
Promedio		20.62	11.04	20.66	10.99	20.64	11.48	21.68	10.02	20.88	6.90

Fuente: Elaborado por los autores

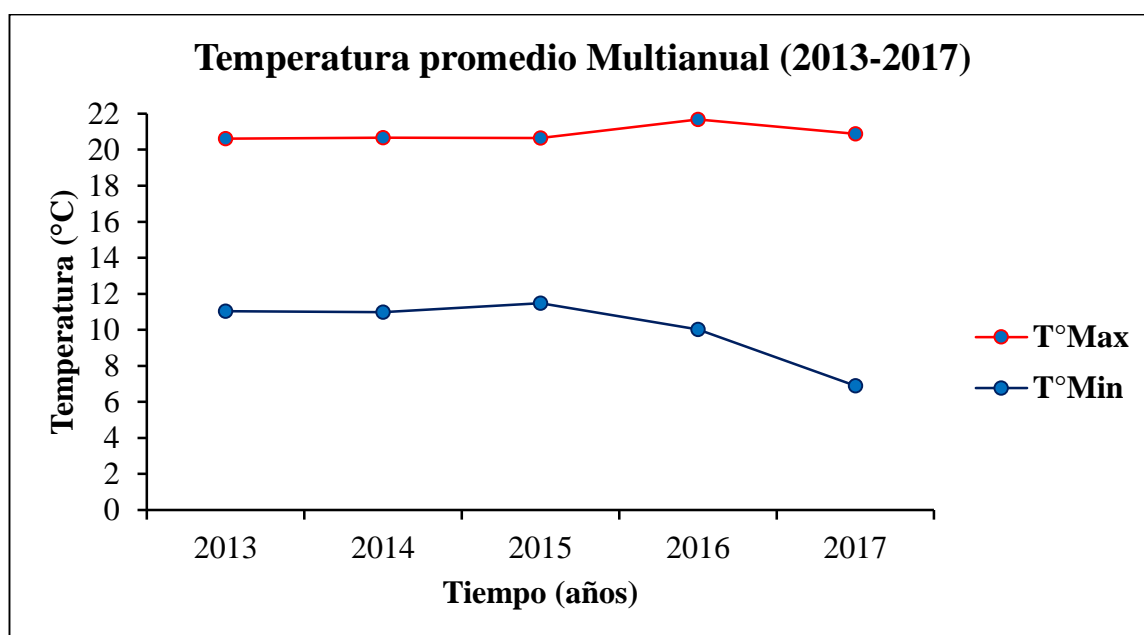


Gráfico 2. Estación Bambamarca temperatura promedio multianual

Fuente: Elaborado por los autores

3.7.4. Precipitación

La época de lluvias en la Quebrada Mesa de Plata, se concentra principalmente entre los meses de octubre y abril; mientras que de mayo a septiembre se producen precipitaciones menores

Se puede apreciar que el mes más lluvioso ha sido el mes de marzo con un promedio de 303.42 mm para la estación Chugur y 172 mm para la estación Bambamarca, afirmando que el mes menos lluvioso ha sido el mes de julio con 12.2 mm para la estación Chugur y 8.76 mm para la estación Bambamarca

La precipitación acumulada anual durante el periodo de registro de 5 años fue de 1442.3 mm para la estación Chugur y 776.20mm para la estación Bambamarca

Tabla 9. Estación Chugur precipitación acumulada Mensual – Multianual

Meses	Estación Meteorológica – Chugur				Tipo: Automática	
	Departamento: Cajamarca	Provincia: Hualgayoc		Distrito: Chugur		
	Latitud: 6° 40' 0"	Longitud: 78° 44' 0"		Altitud: 2744 msnm		
	Precipitación Acumulada Mensual – Multianual (mm)					
	2013	2014	2015	2016	2017	Promedio
Enero	109.1	99.9	138.2	215.8	216.8	155.96
Febrero	155	324.5	18.2	112.5	300.1	182.06
Marzo	306.3	315.1	310.9	62.7	522.1	303.42
Abril	21.4	110.1	101.5	175.7	167.7	115.28
Mayo	213.7	132.7	136.1	37.5	166.6	137.32
Junio	3.1	6.7	0.4	30.5	36.1	15.36
Julio	19.8	32.9	4.1	4.1	0.1	12.20
Agosto	32.6	42.4	0.2	17.9	47.9	28.20
Septiembre	14.2	100.4	0	22.8	66.5	40.78
Octubre	235.7	72.1	0.3	261.5	---	142.40
Noviembre	40.9	90.2	194.63	24.8	---	87.63
Diciembre	40.8	115.3	39.2	134.4	---	82.43
Total	1192.60	1442.3	943.73	1100.2	1409.5	1303.04

Fuente: Elaborado por los autores

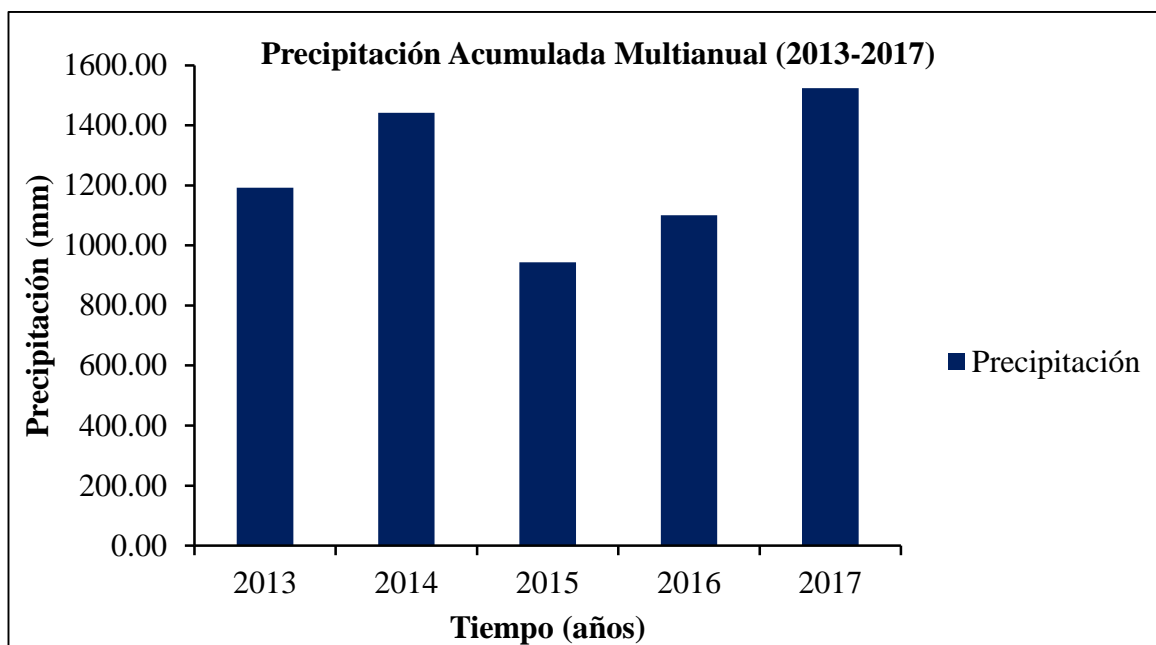


Gráfico 3. Estación Chugur precipitación acumulada multianual

Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 10. Estación Bambamarca precipitación acumulada Mensual-Multianual

		Estación Meteorológica – Bambamarca				Tipo: Convencional
Meses		Departamento: Cajamarca	Provincia: Hualgayoc	Distrito: Bambamarca		
		Latitud: 6° 40' 35"	Longitud: 78° 31' 6"	Altitud: 2736 msnm		
	Precipitación Acumulada Mensual – Multianual (mm)					
	2013	2014	2015	2016	2017	Promedio
Enero	74.5	79	104.7	110.8	88.9	91.58
Febrero	121.5	79.7	52.7	100.7	57.4	82.4
Marzo	170.9	167.7	245.9	83.3	192.2	172
Abril	87.5	41.4	50.7	68.4	85.7	66.74
Mayo	66.7	69.7	57.8	7.4	83.9	57.1
Junio	3.9	0.8	17.3	16	26.9	12.98
Julio	12.6	15.5	10.2	5.5	0	8.76
Agosto	43.5	5.8	7.3	4.3	---	15.225
Septiembre	8.7	34.8	2	3.7	---	12.3
Octubre	87.5	40.1	55.8	48.9	---	58.075
Noviembre	10.4	72.6	78.3	51.2	---	53.125
Diciembre	88.5	91.9	32.1	92.5	---	76.25
Total	776.20	699	714.8	592.7	535	706.54

Fuente: Elaborado por los autores

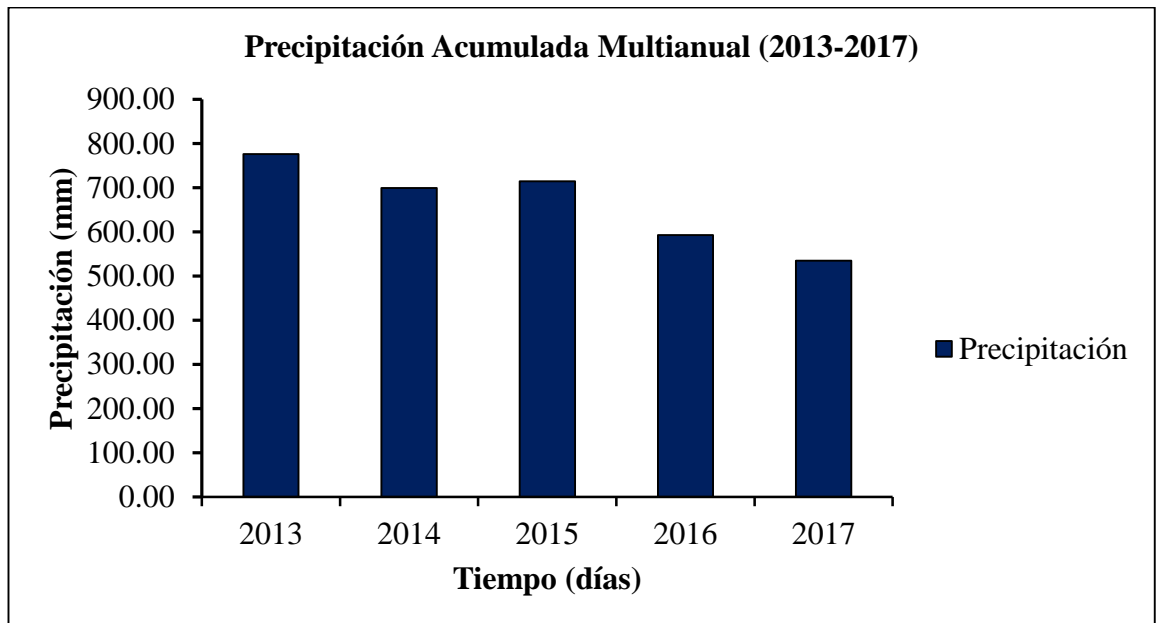


Gráfico 4. Estación Bambamarca precipitación acumulada multianual

Fuente: Elaborado por los autores

3.7.5. Hidrología

La Quebrada Mesa de Plata nace a una altitud de 3,660 msnm, en la parte alta de los pasivos ambientales mineros como: Bocamina Arpón y aguas abajo de la misma la mina Pozos Ricos, con afloramientos de agua que discurren al río Hualgayoc, un curso importante dentro de la cuenca del río Llaucano (actualmente denominada Intercuenca Alto Marañón IV), pertenece a la vertiente del Atlántico.

3.8. DISEÑO DEL SISTEMA PILOTO

3.8.1. Dimensionamiento del SAPS

Son sistemas que combinan por un lado una acción química, generada por la adición de materiales alcalinos; y por otro una acción biológica que facilita tanto la reducción de algunos metales como el aumento de la alcalinidad (**Bros 2006**).

Según **Bros (2006)**, los SAPS están formados por tres capas (Fig.6); una superior de agua embalsada, una intermedia formada por materia orgánica y una inferior constituida por una capa de caliza. Todo esto se dispone en una especie de estanque excavado en el cual se hace fluir el agua de forma vertical, de modo que vaya atravesando todo el conjunto de capas que componen el sistema. La disposición sería la siguiente:

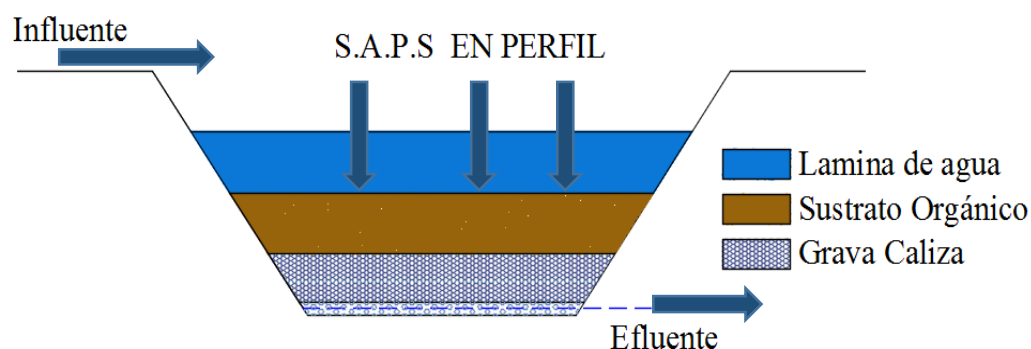


Figura 6. Vista en perfil de un SAPS

Fuente: Elaborado por los autores

Según **EPA (1993)**, se debe considerar una profundidad del lecho de 24 a 30 pulgadas (61.0 a 76.2 cm).

En esta investigación se ha utilizado 60 cm de profundidad del SAPS será suficiente para el caudal a investigar.

3.8.2. Criterios para dimensionar el SAPS

Con el fin de aumentar la eficacia de este sistema, se han tomado los siguientes criterios para cada una de las capas que constituyen el SAPS:

A. Lámina de agua

El agua entra al sistema por su parte más superior hasta conseguir un espesor de lámina de 0.20 metros, de este modo se reducirá el paso por difusión del oxígeno al sistema y nos facilitara el mantenimiento de las condiciones anaerobias..

Se ha consideraremos valores representativos de porosidad para la lámina de agua a en este caso 100% citado de la investigación similar hecha por (**Bros 2006**).

B. Sustrato orgánico

según Bros (2006),recomienda que la 0.10 m de espesor que en esta capa se logra producir el proceso de reducción del Fe^{3+} a Fe^{2+} , se consume el O_2 que pudiera ir disuelto y quedan retenidos algunos posibles metales (Al, Co, Zn, Ni). Con esto se consigue alargar la vida útil de la subsiguiente capa de caliza, que de otro modo, podría ser “armorizada” por precipitación de hierro o vería mermada su conductividad hidráulica por precipitación de Al.

Se ha considerado valores representativos de porosidad para el sustrato orgánico en este caso 30% de la investigación similar hecha por (**Bros 2006**).

C. Capa de caliza

0.30 m de espesor de una profundidad de 0.60 m de esta manera logramos promover la adición de alcalinidad a las aguas una vez atravesado la capa orgánica.

Se ha considerado valores representativos de porosidad para la caliza en este caso 1% según (*Linsley et al, citado por Masters y Ela 2008*).

La salida del agua tiene lugar a través de una tubería perforada situada bajo la caliza, hacia una balsa exterior.

3.8.2.1. Calculo del Área Superficial del SAPS

Para dimensionar correctamente estos sistemas se utilizó los siguientes parámetros los mismos que han sido analizados en el laboratorio NKAP – Cajamarca.

Tabla 11. Valores de Acidez total y pH

Parámetro	Símbolo	Unidad	Concentraciones
pH		Units pH	6.11
Acidez	-	mg/L	57.11

Fuente: Elaborado por los autores

El valor de 30-50 g de acidez por metro cuadrado y por día es un criterio de referencia sobre eliminación de acidez propuesta por (*Hedin et al.1994, Citado por Bros 2006*).

En esta investigación para que el sistema sea lo más exitoso posible, se consideró el promedio de ambos valores para la eliminación de acidez.

Tabla 12. Datos para el cálculo del área del SAPS

Caudal (m ³ /d)	Acc Total (mg/l CaCO ₃)	Criterio de dimensionamiento (g/m ² *d)
3.456	57.11	40

Fuente: Elaborado por los autores

La superficie mínima requerida para el SAPS. Se consigue mediante la siguiente expresión propuesta por *Hedin et al.1994, Citado por Bros (2006)*:

$$\text{Área (m}^2\text{)} = \frac{\left[\text{Acc} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) * Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) \right]}{30 - 50 \text{ (g de acidez/m}^2 * \text{d)}}$$

(Ecuación 1)

$$\text{Área (m}^2\text{)} = \frac{\left[57.11 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * 3.456 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right]}{40 \text{ g de acidez/m}^2 * \text{d}}$$

$$\text{Área} = 4.934 \text{ m}^2$$

3.8.2.2. Cálculo de las longitudes del SAPS

Para realizar este cálculo de largo-ancho del SAPS debe ser seleccionada basándose en el área calculada para alcanzar la reducción del contaminante, *EPA (1993)*, sugiere una proporción de largo – Ancho de 2:1. Esta proporción dependerá de los factores Hidráulicos.

A. Ancho

$$2W * W = A_s$$

(Ecuación 2)

Donde:

$$W = \text{Ancho (m)}$$

$$A_s = \text{Área de superficie (m}^2\text{)}$$

$$2W^2 = 4.934 \text{ m}^2$$

$$W = \sqrt{\frac{4.934}{2}}$$

$$W = 1.571 \text{ m}$$

B. Longitud

$$L = \frac{A_s}{W}$$

(Ecuación 3)

Donde:

L= longitud (m)

$$L = \frac{4.934\text{m}^2}{1.571 \text{ m}}$$

$$L = 3.141 \text{ m}$$

3.8.3. Cálculo del Flujo Hidráulico del SAPS

La utilización de este cálculo nos servirá para determinar la capacidad hidráulica del sistema.

De acuerdo a *Linsley et al, citado por Masters y Ela (2008)*, se tomó datos de la tabla 13 para utilizar la constante de la conductividad para gravilla, arena y Caliza.

Para el sustrato orgánico se ha utilizado 0.25 cm/h de conductividad hidráulica del limo, utilizado en el estudio realizado por (*Figuerola y Asencio 2015*).

Tabla 13. Valores aproximados de conductividad hidráulica.

Material	Conductividad	
	gpd/ft ²	m/día
Arcilla	0,01	0,0004
Arena	1.000	41
Grava	100.000	4.100
Gravilla y arena	10.000	410
Arenisca	100	4,1
Caliza, pizarra	1	0,041
Cuarcita, granito	0,01	0,0004

Fuente: (*Linsley et al, citado por Masters y Ela 2008*).

Tabla 14. Valores para calcular el flujo hidráulico

Tipo Sustrato	Conductividad Hidráulica (m/día).	Área transversal del flujo (m ²)	dH	dL	
Caliza, pizarra	0.041				
Sustrato orgánico	0.06	41.101	0.942	0.6	3.141
Arena	41				

Fuente: Elaborado por los autores

$$Q = K * A \left(\frac{dH}{dL} \right)$$

(Ecuación 4)

Donde:

Q = Flujo Hidráulico (m³/día)

K= Conductividad hidráulica (m/día).

A= Sección del flujo (m²).

$\left(\frac{dH}{dL} \right)$ = Gradiente Hidraulico

$$Q = 41.101 * 0.942 \left(\frac{0.6}{3.141} \right)$$

$$Q = 7.39818 \text{ m}^3/\text{día}$$

Con este cálculo se ha logrado determinar que la capacidad hidráulica del filtro de diseño es igual a 7.398 m³/día mientras que el flujo diario es de 3.456 m³/día.

3.8.3.1. Velocidad de flujo

Conocida también como velocidad de Darcy nos sirvió para estimar la velocidad a la que el agua se mueve en el SAPS (*Masters y Ela 2008*).

$$V = K \left(\frac{dH}{dL} \right)$$

(Ecuación 5)

Donde:

V = Velocidad del flujo (m³/día).

K=Conductividad hidráulica (m/día).

$\frac{dH}{dL}$ = Gradiente Hidráulica

$$V = 41.101 \text{ m/día} \left(\frac{0.6 \text{ m}}{3.141 \text{ m}} \right)$$

$$V = 7.850 \text{ m/día}$$

3.8.3.2. Velocidad de Filtrado

Para realizar este cálculo de la velocidad se menciona la porosidad en base a la caliza y el sustrato orgánico que se utilizara para las capas del tratamiento del filtro.

Tabla 15. Valores representativos de porosidad y rendimiento específico.

Material	Porosidad (%)	Rendimiento específico (%)
Arcilla	45	3
Arena	34	25
Grava	25	22
Gravilla y arena	20	16
Arenisca	15	8
Caliza	5	2
Cuarcita, granito	1	0,5

Fuente: (*Linsley et al, citado por Masters y Ela 2008*).

$$V' = \left(\frac{\text{Velocidad de Darcy}}{\eta} \right)$$

(Ecuación 6)

Donde:

V' = Velocidad de filtrado

η = Porosidad

$$V' = \left(\frac{7.850 \text{ m/día}}{0.35} \right)$$

$$V' = 22.429 \text{ m/día}$$

3.8.3.3. Tiempo de residencia del SAPS

Según *Bros (2006)*, otro de los parámetros que se requieren para la construcción de estos sistemas, es el tiempo de residencia del agua en el sistema y la profundidad o espesor que debe tener el mismo:

$$\text{Tres (h)} = \frac{[S \text{ (m}^2\text{)} * d \text{ (m)} * \mu]}{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}$$

(Ecuación 7)

Donde:

Tres = Tiempo de residencia

S = Área calculada para el sistema.

d = Espesor del sustrato.

μ = Porosidad del sustrato (%)

Q = Caudal de entrada

Tabla 16. Cálculo del tiempo de residencia del SAPS

Caudal (m³/h)	Tipo Sustrato	Porosidad	Prof (m)	Área (m²)	Tres (h)
0.144	Caliza	0.05	0.30	4.934	0.514
	Sustrato orgánico	0.30	0.10		1.028
	Lámina de agua	1.00	0.20		6.85
Total					8.395

Fuente: Elaborado por los autores

3.8.4. Dimensionamiento de la Balsa de Decantación

Para dimensionar la balsa de decantación se ha utilizado la ecuación número 8, considerando las medidas tanto profundidad, largo y ancho del SAPS, adicionando 0.20 m de largo por ancho en caso de lluvias esta balsa evacuara rápidamente el caudal y el excedente será devuelto aguas debajo del punto de captación de la Quebrada Mesa de Plata.

Esta balsa controlara en tal medida el paso de algún solido al humedal aerobio y facilitara la oxidación y precipitación del Fe disuelto.

La siguiente expresión nos permitirá calcular el área total de esta balsa.

$$At= [(a*b) + 2(b*c) + 2(a*c)]$$

(Ecuación 8)

Donde:

- a = Largo
- b = Ancho
- c = Altura

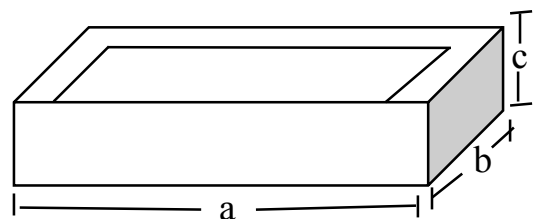


Tabla 17. Cálculo para la balsa de decantación

Largo (a)	Ancho (b)	Atura (c)	Área total por celda (m2)	Volumen total (m3)
3.341	1.771	0.60	12.051	3.550

Fuente: Elaborado por los autores

3.8.5. Dimensionamiento del Humedal Aerobio

Según *Aduvire (2006)*, en un humedal aerobio la principal variable a tener en cuenta es la carga metálica (q) que lleva el agua de mina a tratar, se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$q\left(\frac{\text{g}}{\text{día}}\right) = Q\left(\frac{\text{l}}{\text{min}}\right) * C_m\left(\frac{1\text{g}}{10^3\text{mg}}\right) * \left(\frac{1440\text{ min}}{1\text{ día}}\right)$$

(Ecuación 9)

Donde:

q = Carga metálica

Q = Caudal

C_m = Concentraciones metálicas en mg/l

La siguiente tabla muestra los valores de concentración de Fe y Mn de la estación HSE-3, correspondientes al informe de monitoreo de calidad de agua superficial correspondiente al primer trimestre del año 2017. Esta estación está ubicada en el río Hualgayoc aguas abajo de la confluencia con la Quebrada Mesa de Plata en las siguientes coordenadas (UTM): 9251799 Norte y 764683 Este, datum de referencia (WGS84, Zona 17 sur).

En esta investigación se ha hecho incapie en esta estación de monitoreo por los valores tanto de Fe y Mn que sobresalen con respecto al resto de estaciones hubicadas en el tramo de la Quebrada Mesa de Plata, de esta manera se ha dimensionado el humedal aerobio, ver anexo 2.

Tabla 18. Valores de concentración de Fe y Mn de la estación HSE-3

Elemento	Símbolo	Unidad	Concentraciones
Hierro	Fe	mg/l	1.9638
Manganeso	Mn	mg/l	1.1979

Fuente: Elaborado con base a *GFLC (2017)*.

3.8.5.1. Cálculo de carga metálica para el hierro

$$q \left(\frac{\text{g}}{\text{día}} \right) = 2.4 \frac{\text{l}}{\text{min}} * 1.9638 \frac{\text{mg}}{\text{l}} * \left(\frac{1\text{g}}{10^3\text{mg}} \right) * \left(\frac{1440 \text{ min}}{1 \text{ día}} \right)$$

$$q = 6.787 \text{ g/día Fe}$$

3.8.5.2. Cálculo de carga metálica para el manganeso

$$q \left(\frac{\text{g}}{\text{día}} \right) = 2.4 \frac{\text{l}}{\text{min}} * 1.1979 \frac{\text{mg}}{\text{l}} * \left(\frac{1\text{g}}{10^3\text{mg}} \right) * \left(\frac{1440 \text{ min}}{1 \text{ día}} \right)$$

$$q = 4.140 \text{ g/día Mn}$$

3.8.5.3. Cálculo para área de humedal aerobio

Según *Skousen et al; Hedin et al; Hyman et al; Watzlaf citado por Aduvire (2006)*, el criterio más utilizado para determinar la superficie mínima de un humedal aerobio se determina en función a la eliminación de hierro y manganeso por unidad de superficie y día.

Eliminación de hierro: 10 a 20 g/m².día

Eliminación de manganeso: 0,5 a 1,0 g/m².día

$$\text{Superficie (m}^2\text{)} = \frac{\text{g Fe/día}}{10 \text{ a } 20 \text{ g/m}^2 * \text{día}} + \frac{\text{g Mn/día}}{0,5 \text{ a } 1,0 \text{ g/m}^2 * \text{día}}$$

(Ecuación 10)

Para esta investigación se ha utilizado el promedio de los criterios anteriormente propuestos.

$$\text{superficie (m}^2\text{)} = \frac{6.787 \text{ g Fe/día}}{15 \text{ g/m}^2 * \text{día}} + \frac{4.140 \text{ g Mn/día}}{0.75 \text{ g/m}^2 * \text{día}}$$

$$\text{As} = 5.972 \text{ m}^2$$

3.8.5.4. Cálculo de las longitudes del humedal

A. Ancho

Para el desarrollo de este cálculo se ha utilizado la ecuación 2.

$$2W^2 = 5.972 \text{ m}^2$$

$$W = \sqrt{\frac{5.972}{2}}$$

$$\mathbf{W = 1.728 \text{ m}}$$

B. Longitud

Para el desarrollo de este cálculo se ha utilizado la ecuación 3.

$$L = \frac{5.972 \text{ m}^2}{1.728 \text{ m}}$$

$$\mathbf{L = 3.456 \text{ m}}$$

3.8.5.5. Tiempo de residencia por celda en el humedal

El tiempo de retención en el humedal (h) se ha calculado utilizando la ecuación 7 y valores de porosidad del sustrato de la tabla 15.

Tabla 19. Cálculo del tiempo de residencia del humedal

Caudal (m ³ /h)	Tipo Sustrato	Porosidad	Prof. (m).	Área (m ²)	Tres (h)
0.144	Gravilla y arena	0.20	0.10		0.829
	Sustrato orgánico	0.30	0.30	5.972	3.733
	Lámina de agua	1.00	0.20		8.295
				Total	12.857

Fuente: Elaborado por los autores

El humedal está conformado por tres celdas ocupando un tiempo de residencia total de 39 horas.

3.8.6. Dimensionamiento de la Balsa de Recepción

Para dimensionar la balsa de recepción se ha utilizado la ecuación 8, considerando una adición de medida de 0.20 m de largo por ancho en caso de lluvias estas balsas evacuaran rápidamente el caudal de vertido por el humedal aerobio y el excedente será devuelto aguas debajo del punto de captación de la Quebrada Mesa de Plata.

Tabla 20. Cálculo para la balsa de recepción

Largo (a)	Ancho (b)	Atura (c)	Área total por celda (m ²)	Volumen total (m ³)
3.656	1.928	0.60	13.750	4.229

Fuente: Elaborado por los autores

3.9. METODOLOGÍA DESARROLLADA DURANTE LA INVESTIGACIÓN

3.9.1. Trabajo de campo

A. Muestreo de aguas ácidas en la Quebrada Mesa de Plata

Durante esta actividad se utilizó frascos estériles de un litro para recolectar la muestra de agua ácida in situ y luego se transportó al laboratorio NKAP para determinar los parámetros fisicoquímicos como: pH y acidez



Imagen 1. Muestreo de aguas ácidas en la Quebrada Mesa de Plata

B. Excavación de celdas del humedal

En esta actividad se realizó el dimensionamiento de cada celda mediante trazos con yeso de acuerdo a las medidas del plano, luego se utilizó retroexcavadora para extraer el material de la superficie.



Imagen 2. Excavación de celdas del humedal

C. Verificación de la profundidad excavada

Mediante la utilización de una huincha se está haciendo la medición de la excavación considerable a 60 cm.



Imagen 3. Verificación de la profundidad excavada

D. Perfilado vertical de celdas del humedal

Durante la excavación de las celdas se observa que ha quedado las paredes verticales desplomadas y con material suelto, es por ello que con la ayuda de un pico y palana nos permitió perfilar a una forma perpendicular



Imagen 4. Perfilado vertical de celdas del humedal

E. Relleno y nivelación de celdas del humedal

Todas las celdas se han tenido que rellenar con el mismo material extraído hasta lograr la altura de 60 cm, porque durante la excavación la precisión de la retroexcavadora se registró con un error de 20 cm.



Imagen 5. Relleno y nivelación de celdas

F. Distribución de arena

La arena solo se ha colocado en la base de las celdas con un espesor de 10cm



Imagen 6. Distribución de arena

G. Distribución de grava caliza

La grava caliza solo se ha colocado en el SAPS con un espesor de 30 cm que permitirá neutralizar el pH del agua contaminada.



Imagen 7. Distribución de grava caliza

H. Distribución del sustrato orgánico

En la investigación realizada hemos considerado que las celdas del humedal aerobio debe tener como mínimo un espesor de 30cm, porque observamos que las raíces de las plantas están en una rango de 10 a 15 cm.



Imagen 8. Distribución del sustrato orgánico

I. Siembra y adaptación de las especies vegetales

- *Typha spp*

Esta especie vegetal tiene una altura desde 1.20m a 1.50m, la misma que muestra una densidad de 5 plantas/m² para esta celda. Luego se ha inundado con una lámina de agua a 20 cm para facilitar su crecimiento registrándose una buena adaptación a la segunda semana.



Imagen 9. *Typha spp*

- ***Cortaderia selloana***

Se sembró en esta celda 5 plantas plantas/m² de esta misma especie vegetal, el tallo registra una altura de 30 a 40cm, sus raíces quedo introducido en el sustrato orgánico para lograr su sostenimiento. Además se inundó con una lámina de agua a 10 cm. Esta planta se adaptó a la 4 semana por motivos que no tiene las características de una planta macrófita para desarrollarse con facilidad en una ambiente acuático.



Imagen 10. *Cortaderia selloana*

- *Eichhornia crassipes*

La capacidad de esta celda soporto una densidad de 15 plantas /m², porque son plantas flotantes y requieren un espacio más homogéneo para crear un ambiente más eficaz durante el tratamiento del agua contaminada. Esta planta acuática contiene una lámina de agua de 20 cm para facilitar su crecimiento, registrando así una buena adaptación durante las dos primeras semanas.



Imagen 11. *Eichhornia crassipes*

J. Vista del SAPS

Este sistema ha sido construido con sacos contenidos de material extraído de la excavación de las celdas, los mismos que se muestran apilados a una altura de 60 cm. En la base se ha colocado una tubería perforada de drenaje cubierto por una capa de caliza de 30 cm y una capa de sustrato orgánico de 20cm, dejando 10 cm para la formación de la lámina de agua.



Imagen 12. Vista del SAPS

K. Sistema piloto de fitorremediación

El SAPS y las celdas del humedal han sido construidos con plástico, además en su alrededor se ha colocado sacos impermeabilizados contenidos de material extraído de la excavación de las celdas para evitar que el agua de escorrentía entre en contacto con el funcionamiento del sistema ante una posible precipitación. Además se ha instalado una cinta de seguridad para prohibir el paso de personas al sistema.



Imagen 13. Sistema piloto de fitorremediación

L. Incorporación de agua ácida al sistema piloto

El agua ácida se ha captado con una manguera donde ingresa a un balde controlar de caudal, el mismo que es regula con una llave de paso de $\frac{1}{2}$ a la salida, con la finalidad de hacer ingresar al SAPS un flujo constante de 40 ml/s.



Imagen 14. Incorporación de agua ácida al sistema piloto

M. Monitoreo durante el tratamiento del agua ácida

- **Monitoreo en el afluente del sistema piloto**

Este punto de monitoreo se consideró en el cilindro controlador de caudal, se tomó una muestra en frascos de 500 ml, previamente enjuagando 3 veces los envases con la misma agua a ser analizadas y se sumergió a 20cm.



Imagen 15. Monitoreo en el afluente del sistema piloto

- **Monitoreo en el efluente del sistema piloto**

Las muestras recolectadas de agua tratada se realizaron cada 24 horas exactamente antes de que la descarga ingrese al curso de agua de la Quebrada Mesa de Plata.



Imagen 16. Monitoreo en el efluente del sistema piloto

3.9.1.1. Equipos, herramientas y materiales

A. Equipos

- Cámara fotográfica
- GPS

B. Herramientas

- Huincha
- Palana
- Picota
- Arcosierra
- Barreta

C. Materiales

- 2 kg de yeso
- 2 cubos de arena
- 1 cubo de piedra caliza
- 2 cubos de top soil
- 50 m de plástico
- 10m de cordel
- 1 cilindro plástico de 150 litros
- 100m de manguera
- 3 tubos de ½"
- 2 tubos de 2"
- 8 tubos de 1"
- 2 llaves de paso de ½"
- 1 Cinta Vulcanizada

- Cinta de seguridad
- Tablero apoya manos
- Rotulador o marcador
- Libreta de apuntes
- Lapiceros
- Cooler
- Frascos estériles de 500 ml

3.9.2. Trabajo de Gabinete

- Recolección bibliográfica.
- Elaboración de mapas de ubicación.
- Elaboración del plano del sistema piloto
- Elaboración e interpretación de gráficas de los análisis tanto de agua como de plantas.

Período de ejecución – Marzo a Septiembre del 2017

3.9.2.1. Equipos y materiales

A. Equipos

- Computadora Portátil
- Impresora

B. Materiales

- Papel A4, A3
- Memoria USB (8GB)
- Internet
- Softwares: ArcMap 10.3 , Google Earth ,AutoCAD y SPSS

4. CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE pH

Tabla 21. Análisis de pH en el sistema de fitorremediación

Código	Fecha de Muestreo	Hora	pH
ME-1	22/08/2017	3.00 pm	4.79
MS-1	23/08/2017	9:00am	8.01
MS-2	24/08/2017	9:00am	8.01
MS-3	25/08/2017	9:00am	8.06
MS-4	26/08/2017	9:00am	8.31
MS-5	27/08/2017	9:00am	8.06
MS-6	28/08/2017	9:00am	7.97
MS-7	29/08/2017	9:00am	7.84
MS-8	30/08/2017	9:00am	7.81
MS-9	31/08/2017	9:00am	7.68
MS-10	01/09/2017	9:00am	7.70
MS-11	02/09/2017	9:00am	7.63
MS-12	03/09/2017	9:00am	7.61
MS-13	04/09/2017	9:00am	7.60
MS-14	05/09/2017	9:00am	7.25
MS-15	06/09/2017	9:00am	7.10
MS-16	07/09/2017	9:00am	7.18
MS-17	08/09/2017	9:00am	7.15
MS-18	09/09/2017	9:00am	7.16
MS-19	10/09/2017	9:00am	7.16

Fuente: Elaborado por los autores

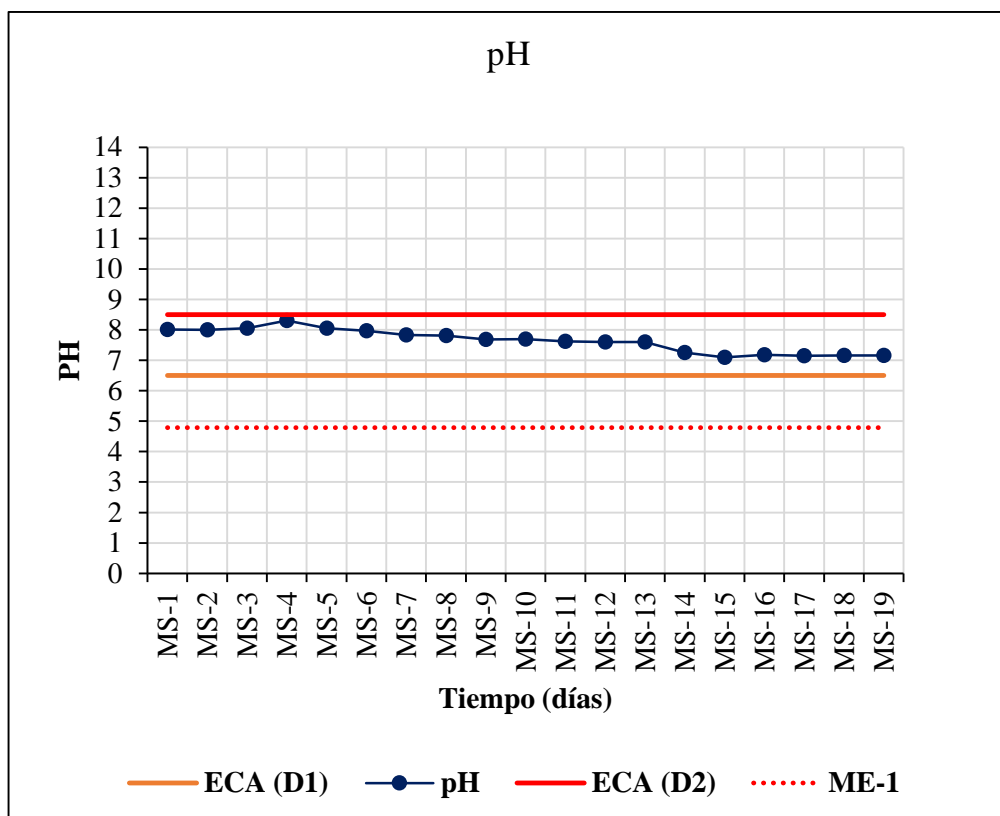


Gráfico 5. Análisis de pH en el sistema de fitorremediación

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación:

En el gráfico mostrado se observa que el ECA, presenta valor de 6.5 y 8.5 para el parámetro del "pH"; en el primer muestreo perteneciente a ME – 1 presentan un pH bajo debido a la gran cantidad de agua ácida de la quebrada, a medida que el líquido ingresa al SAPS el pH aumenta por la presencia de la capa caliza en el medio hasta llegar a 8 manteniéndose así por 5 días, luego se estabiliza en un pH neutro hasta concluir el muestreo. Esta investigación está dentro del estándar permitido de pH según ECA – 2017.

4.2. ANÁLISIS DE CONDUCTIVIDAD

Tabla 22. Análisis de conductividad en el sistema de fitorremediación

Código	Fecha de Muestreo	Hora	Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
ME-1	22/08/2017	3.00 pm	1444.00
MS-1	23/08/2017	9:00am	1392.50
MS-2	24/08/2017	9:00am	1387.50
MS-3	25/08/2017	9:00am	1383.50
MS-4	26/08/2017	9:00am	1375.50
MS-5	27/08/2017	9:00am	1372.50
MS-6	28/08/2017	9:00am	1374.00
MS-7	29/08/2017	9:00am	1371.50
MS-8	30/08/2017	9:00am	1368.00
MS-9	31/08/2017	9:00am	1368.50
MS-10	01/09/2017	9:00am	1368.50
MS-11	02/09/2017	9:00am	1353.50
MS-12	03/09/2017	9:00am	1350.50
MS-13	04/09/2017	9:00am	1347.00
MS-14	05/09/2017	9:00am	1400.50
MS-15	06/09/2017	9:00am	1398.00
MS-16	07/09/2017	9:00am	1396.50
MS-17	08/09/2017	9:00am	1400.50
MS-18	09/09/2017	9:00am	1402.00
MS-19	10/09/2017	9:00am	1401.00

Fuente: Elaborado por los autores

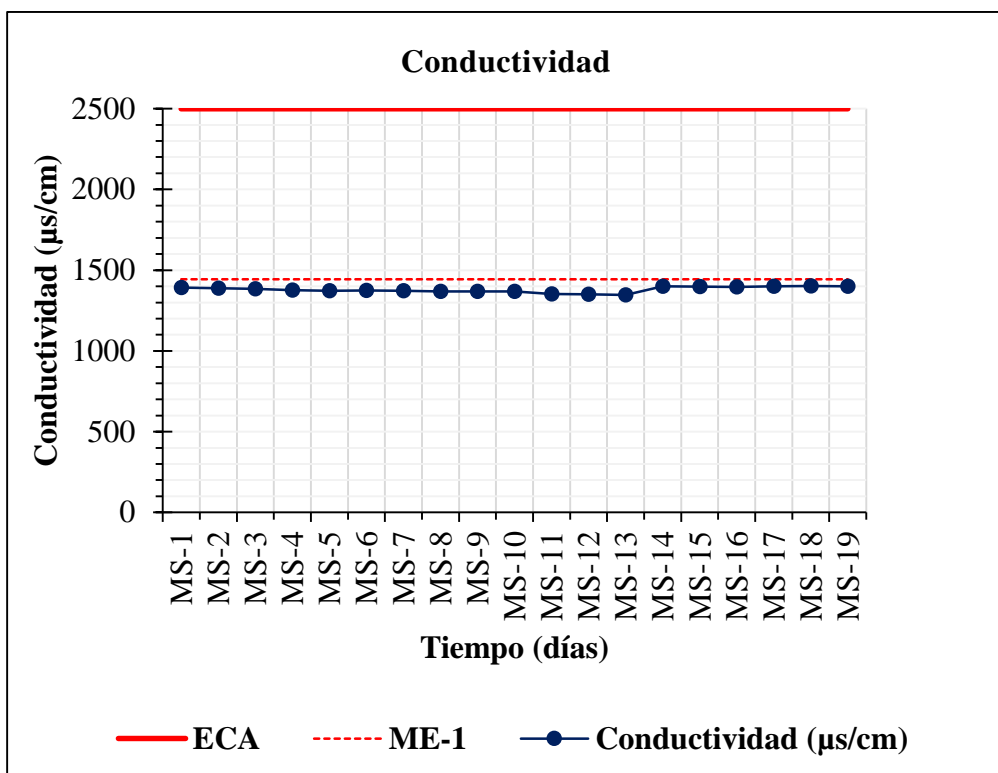


Gráfico 6. Análisis de conductividad en el sistema de fitorremediación

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación

En el gráfico mostrado se observa que el ECA, presenta un valor de 2500 (µs/cm) para el parámetro de la "Conductividad" sin embargo en todos los puntos los valores son inferiores al ME-1(muestreo de conductividad en el afluente), indicando que la descarga se ha mejorado su calidad del agua porque si cumple con el ECA – 2017.

4.3. ANÁLISIS DE METALES TOTALES EN AGUA

Tabla 23. Análisis de metales totales en agua del sistema de fitorremediación

Parámetros	Unidad	LCM	Resultados													
			ME-1	MS-1	MS-2	MS-3	MS-4	MS-5	MS-6	MS-7	MS-8	MS-9	MS-10	MS-11	MS-12	MS-13
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	0.906	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.023	0.027	0.028	0.026	0.028	0.033	0.037	0.03	0.069
Arsénico (As)	mg/L	0.003	0.021	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bario (Ba)	mg/L	0.002	0.015	0.021	0.019	0.018	0.016	0.017	0.017	0.016	0.016	0.017	0.018	0.019	0.021	0.021
Berilio (Be)	mg/L	0.002	<LCM	0.003	0.004	0.002	<LCM	0.004	0.002	0.002	0.004	<LCM	0.004	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/L	0.021	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	0.126	<LCM	<LCM	<LCM	0.004	0.013	0.019	0.025	0.029	0.042	0.041	0.043	0.049	0.051
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	0.072	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cromo (Cr)	mg/L	0.002	0.005	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	8.989	<LCM	<LCM	0.021	0.033	0.083	0.074	0.111	0.1	0.1	0.154	0.167	0.134	0.387
Litio (Li)	mg/L	0.004	0.011	0.012	0.012	0.012	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.012	0.012	0.012	0.012	0.013
Magnesio (Mg)	mg/L	0.017	15	20.26	19.60	19.48	17.01	16.34	16.050	15.160	15.440	16.360	16.470	16.770	17.530	18.130
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	20.750	0.030	0.070	0.808	2.037	4.409	5.602	6.553	7.494	9.997	10.12	9.779	10.640	11.190
Níquel (Ni)	mg/L	0.002	0.009	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.002	0.004	0.003	0.003	0.004	0.004
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	0.031	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.003
Selenio (Se)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	8.171	<LCM	0.055	0.679	1.439	3.086	3.749	4.433	4.746	5.518	5.507	5.628	5.929	6.076

4.3.1. Aluminio

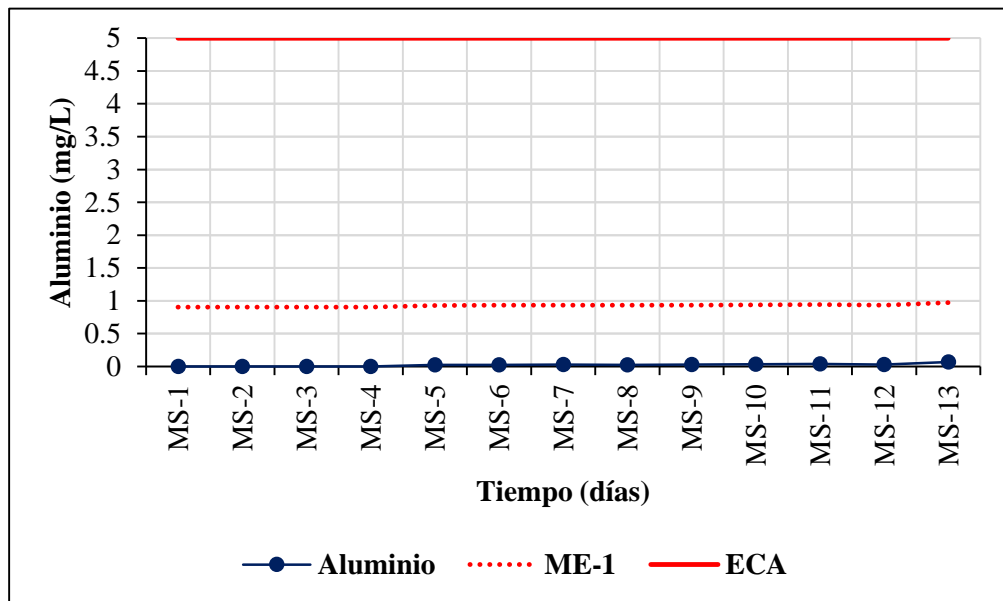


Gráfico 7. Análisis de Aluminio

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación

En el gráfico mostrado se observa que el ECA, presenta un valor 5 (mg/L) para el Aluminio; en el punto de muestreo correspondiente al afluente ME – 1, tiene una concentración de 0.906 mg/L aun así está dentro del estándar de calidad ambiental; sin embargo en todos los días restantes del muestreo en el efluente los valores indican que se mejorado la calidad del agua referente al ECA – 2017.

4.3.2. Arsénico

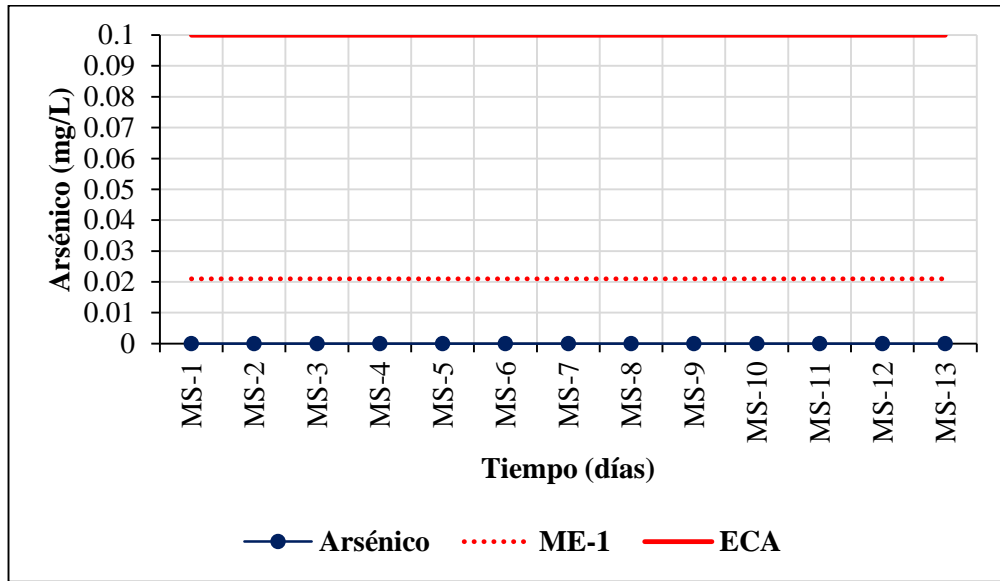


Gráfico 8. Análisis de Arsénico

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación

En el gráfico mostrado se observa que el ECA, presenta un valor de 0.1 mg/L para el Arsénico, en el punto de muestreo correspondiente al afluente ME – 1, tiene una concentración de 0.021 mg/L aún está dentro del estándar de calidad ambiental; sin embargo en todos los días restantes del muestreo en el efluente los valores indican que se mejorado la calidad del agua referente al ECA – 2017.

4.3.3. Bario

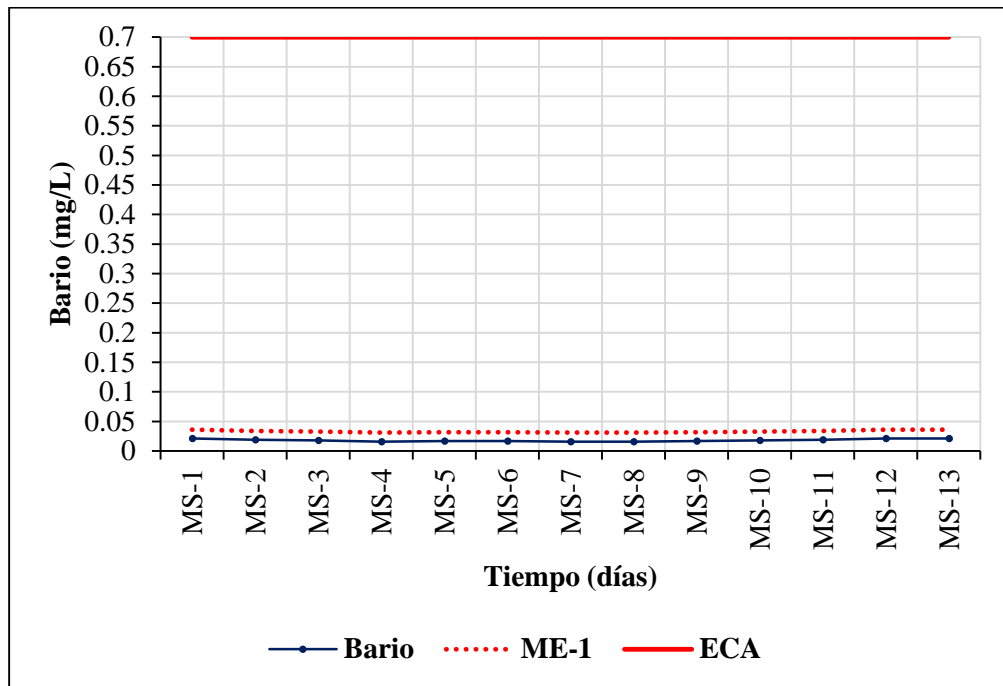


Gráfico 9. Análisis de Bario

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación

En el gráfico mostrado se observa que el ECA, presenta un valor de 0.7 mg/L para el Bario, en el punto de muestreo correspondiente al afluente ME – 1, tiene una concentración de 0.015 mg/L aún está dentro del estándar de calidad ambiental; sin embargo en todos los días restantes del muestreo en el efluente los valores indican que se mejorado la calidad del agua referente al ECA – 2017.

4.3.4. Berilio

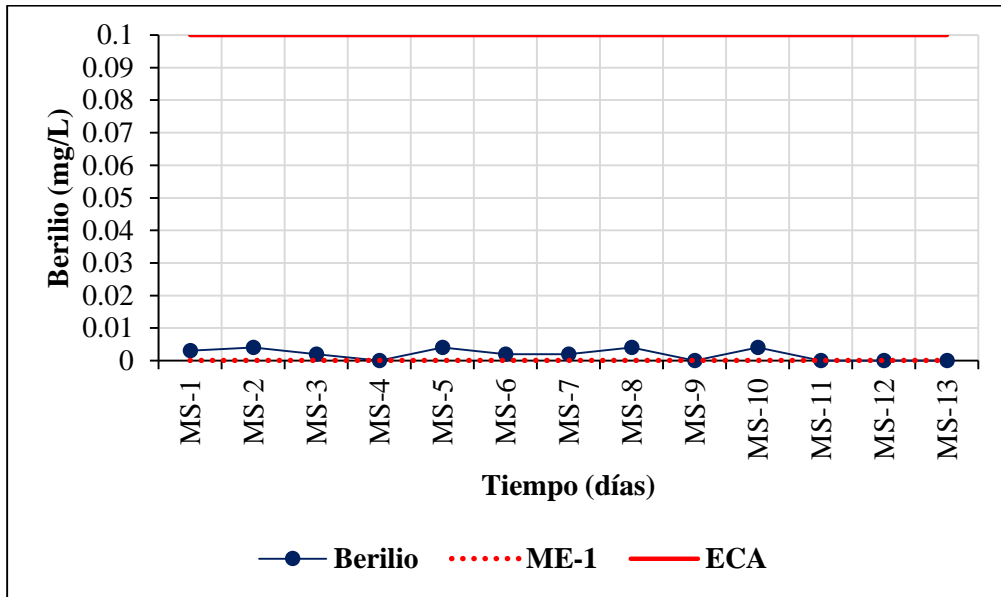


Gráfico 10. Análisis de Berilio

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación

En el gráfico mostrado se observa que el ECA, presenta un valor de 0.1 mg/L para el Berilio, sin embargo en todos los puntos de muestreo los valores se encuentran por debajo del ECA – 2017.

4.3.5. Cadmio

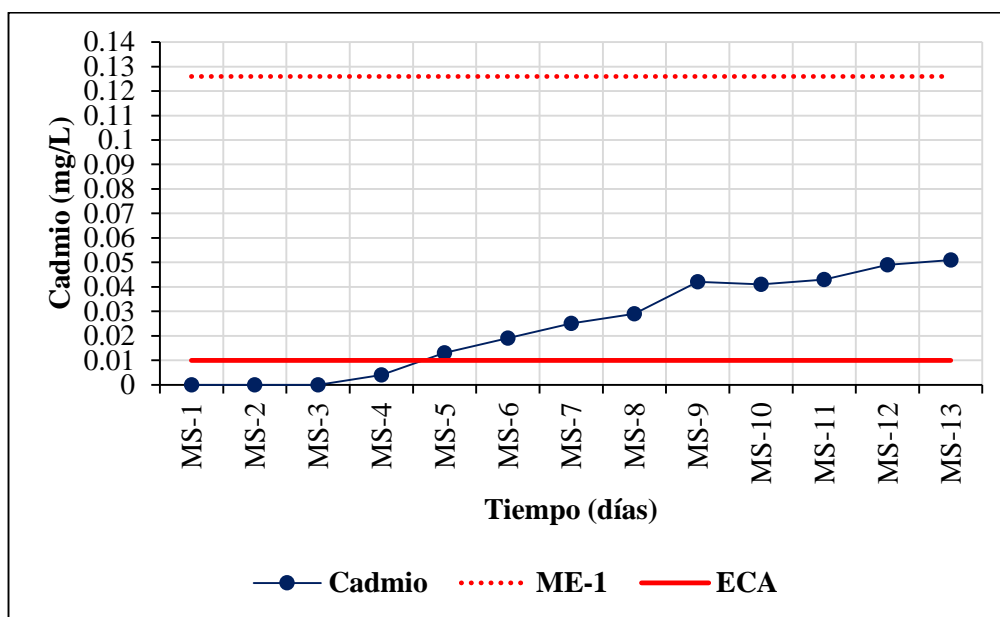


Gráfico 11. Análisis de Cadmio

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación

En el gráfico mostrado se observa que el ECA, presenta un valor de 0.01 mg/L para el cadmio, en el punto de muestreo correspondiente al afluente ME-1 sobrepasa el estándar de calidad ambiental al obtener un valor de 0.126 mg/L; en los siguientes días en el efluente MS-1 a MS-3 de tratamiento desciende la concentración hasta alcanzar valores menor al límite de cuantificación (<0.002mg/l); sin embargo en los puntos restantes del muestreo sobrepasa el ECA, referente a este resultado se puede decir que las especies vegetales utilizadas en el tratamiento no han removido este metal, así lo demuestra la Tabla 25 sobre análisis de metales totales en plantas.

4.3.6. Cobre

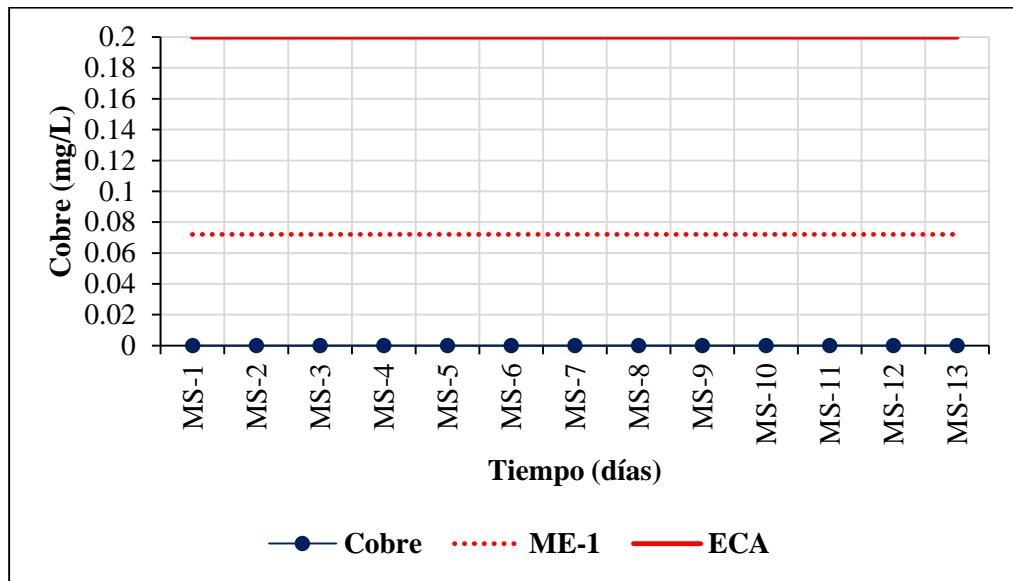


Gráfico 12. Análisis de Cobre

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación:

Al analizar el gráfico se observa que el ECA para Cobre, presenta un valor de 0.2 mg/L, sin embargo en todos los puntos de muestreo los valores se encuentran con una tendencia menor al límite de cuantificación de la muestra (<0.014mg/l), indicando que se mejorado la calidad del agua, porque sus concentraciones están por debajo del ECA – 2017.

4.3.7. Cromo Total

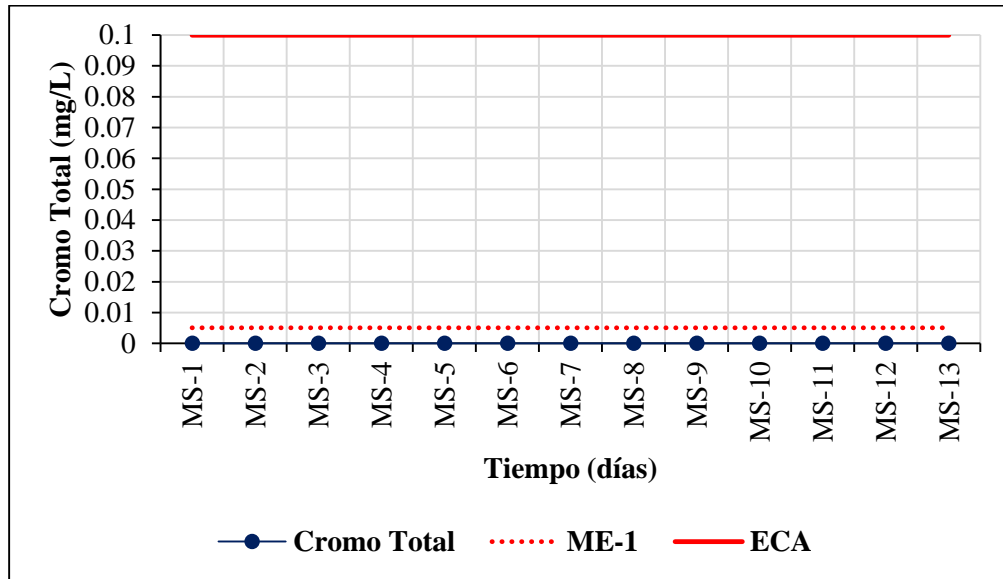


Gráfico 13. Análisis de Cromo Total

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación:

En el gráfico mostrado se observa que el ECA para Cromo Total, presenta un valor de 0.1 mg/L, en el punto de muestreo correspondiente al afluente ME – 1, tiene una concentración de 0.005 mg/L aún está dentro del estándar de calidad ambiental; sin embargo en todos los días restantes del muestreo en el efluente los valores indican que se mejorado la calidad del agua referente al ECA – 2017.

4.3.8. Hierro

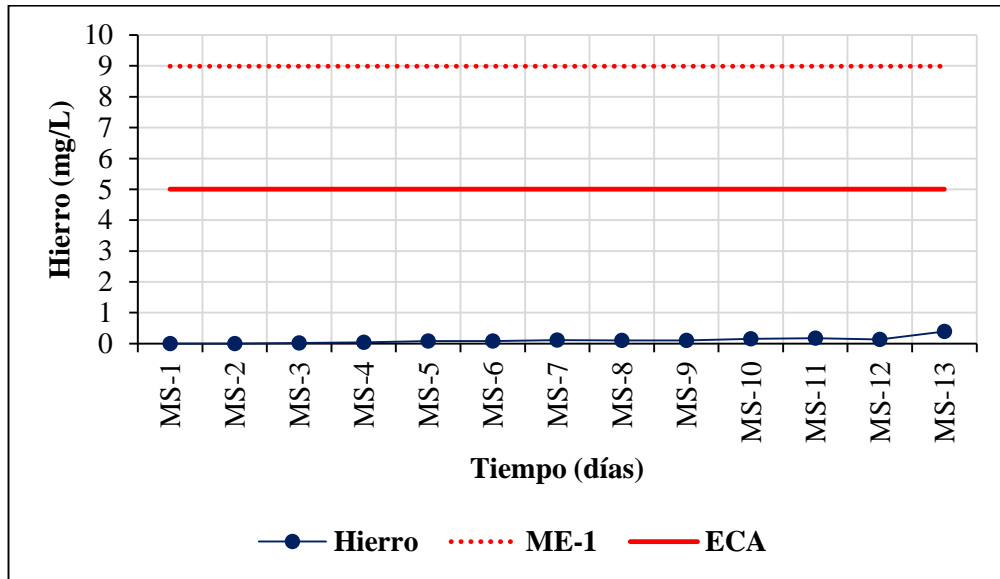


Gráfico 14. Análisis de Hierro

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación:

En el gráfico mostrado se observa que el ECA para Hierro, presenta un valor de 5 mg/L, en el punto de muestreo correspondiente al afluente ME – 1 sobrepasa el estándar de calidad ambiental, al obtener un valor de 8.989 mg/L; sin embargo en todos los días restantes del muestreo en el efluente los valores se encuentran con una tendencia a disminuir hasta alcanzar el límite de cuantificación de la muestra (<0.019mg/l), cumpliendo así el ECA – 2017.

4.3.9. Litio

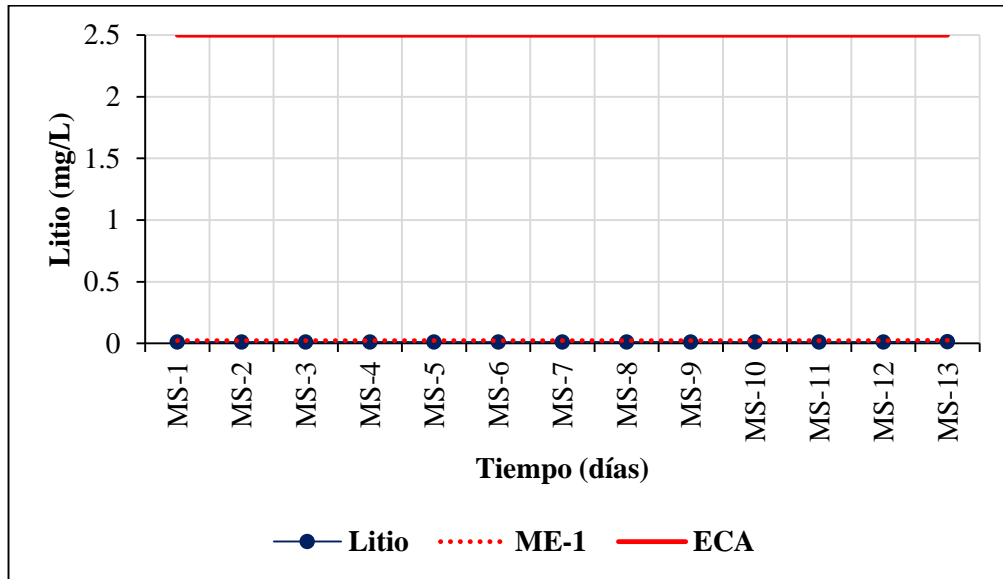


Gráfico 15. Análisis de Litio

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación:

Al analizar el gráfico se observa que el ECA para Litio, presenta un valor de 2.5 mg/L, en el punto de muestreo correspondiente al afluente ME – 1, tiene una concentración de 0.011 mg/L aún está dentro del estándar de calidad ambiental; sin embargo en todos los días restantes del muestreo en el efluente los valores indican que se mejorado la calidad del agua referente al ECA – 2017.

4.3.10. Magnesio

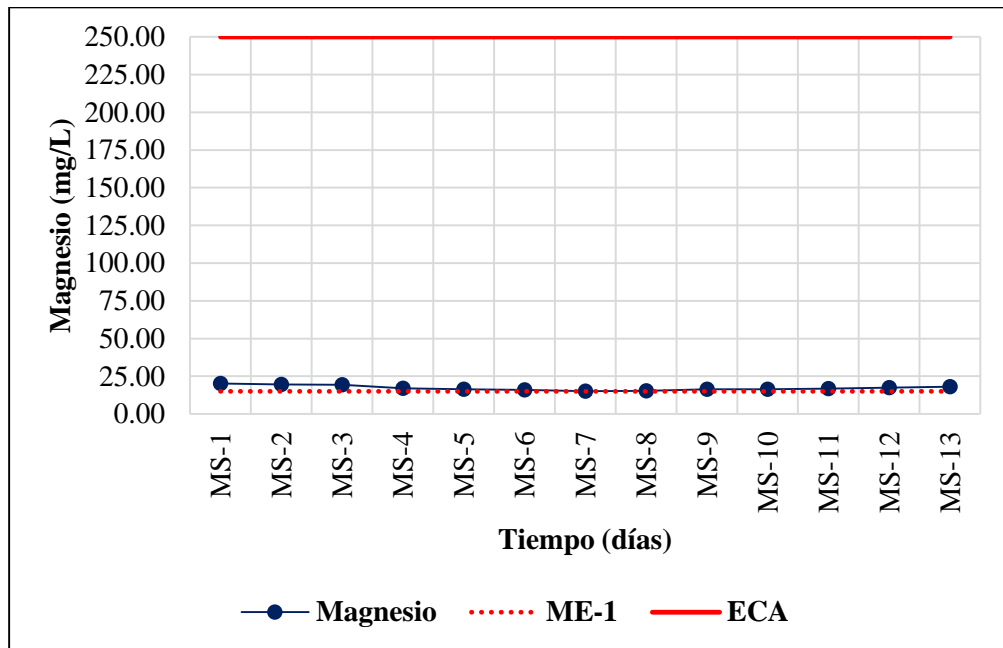


Gráfico 16. Análisis de Magnesio

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación:

En el gráfico se observa que el ECA para Magnesio, presenta un valor de 250 mg/L, sin embargo en todos los puntos de muestreo los valores se encuentran por debajo del ECA – 2017, indicando que se mejorado la calidad del agua.

4.3.11. Manganeso

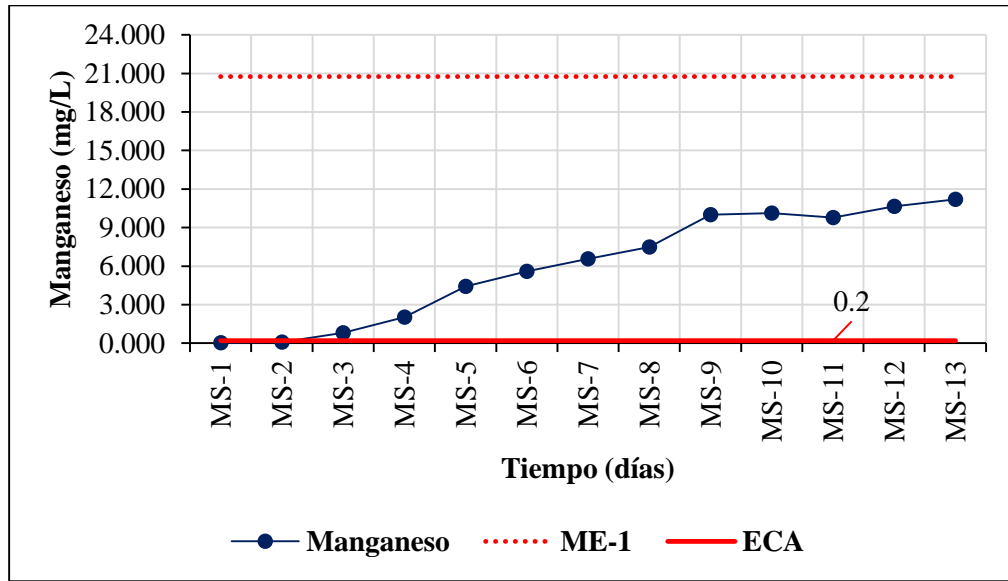


Gráfico 17. Análisis de Manganeso

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación:

En el análisis del gráfico se observa que el ECA para Manganeso, presenta un valor de 0.2 mg/L, en el punto de muestreo correspondiente al afluente ME – 1 sobrepasa el estándar de calidad ambiental, al obtener un valor de 20.75 mg/L; en los siguientes días en el efluente MS – 1 y MS – 2 desciende dicha concentración siendo menor al límite de cuantificación (<0.002mg/l); sin embargo en los puntos que resta del muestreo sobrepasa el ECA como consecuencia de lluvias en esos días, así lo demuestra la tabla 9 de precipitación perteneciente a la estación Chugur.

Según *Aduvire (2006)*, menciona que la cinética de remoción de hierro y manganeso en los humedales es diferente, en la práctica se ha comprobado que la remoción de Mn se paraliza cuando la concentración de Fe^{2+} es menor a 1 mg/l. Teórica que corrobora con el gráfico 14 de la investigación.

4.3.12. Níquel

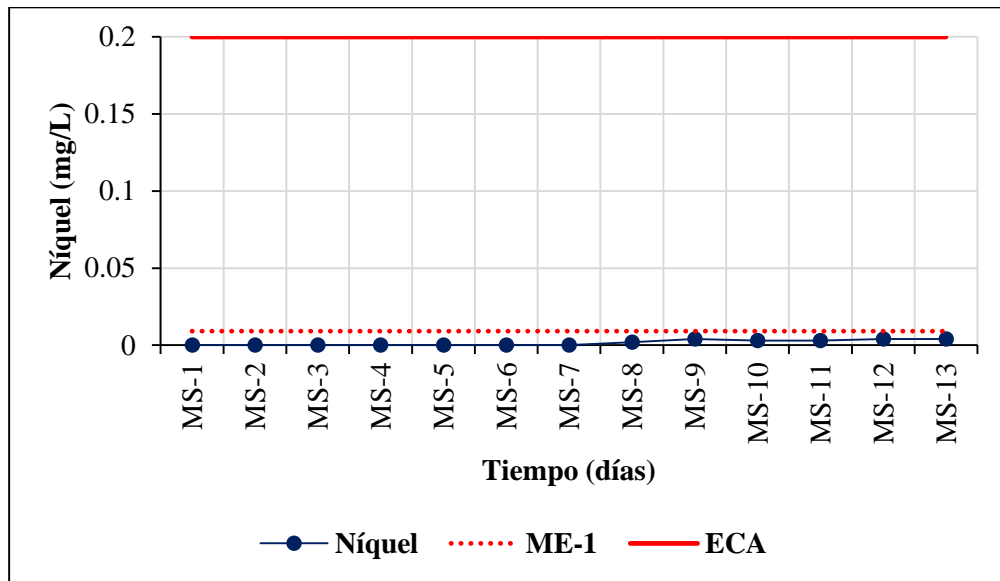


Gráfico 18. Análisis de Níquel

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación:

En el gráfico se observa que el ECA para Níquel, presenta un valor de 0.2 mg/L, en el punto de muestreo correspondiente al afluente ME – 1, tiene una concentración de 0.009 mg/L aún está dentro del estándar de calidad ambiental; sin embargo en todos los días restantes del muestreo en el efluente los valores indican que se mejorado la calidad del agua referente al ECA – 2017.

4.3.13. Plomo

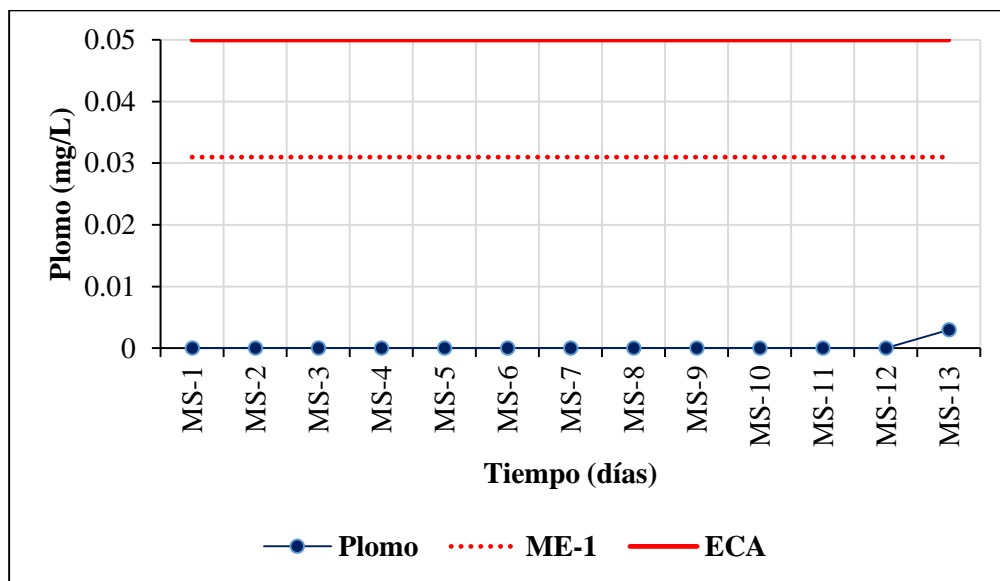


Gráfico 19. Análisis de Plomo

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación:

En el gráfico mostrado se observa que el ECA para Plomo, presenta un valor de 0.05 mg/L; en el punto de muestreo correspondiente al afluente ME – 1, tiene una concentración de 0.031mg/L aun así está dentro del estándar de calidad ambiental; sin embargo en todos los días restantes del muestreo en el efluente los valores se encuentran con una tendencia a disminuir hasta alcanzar valores menor al límite de cuantificación de la muestra (<0.003mg/l), indicando que se mejorado la calidad del agua referente al ECA – 2017.

4.3.14. Zinc

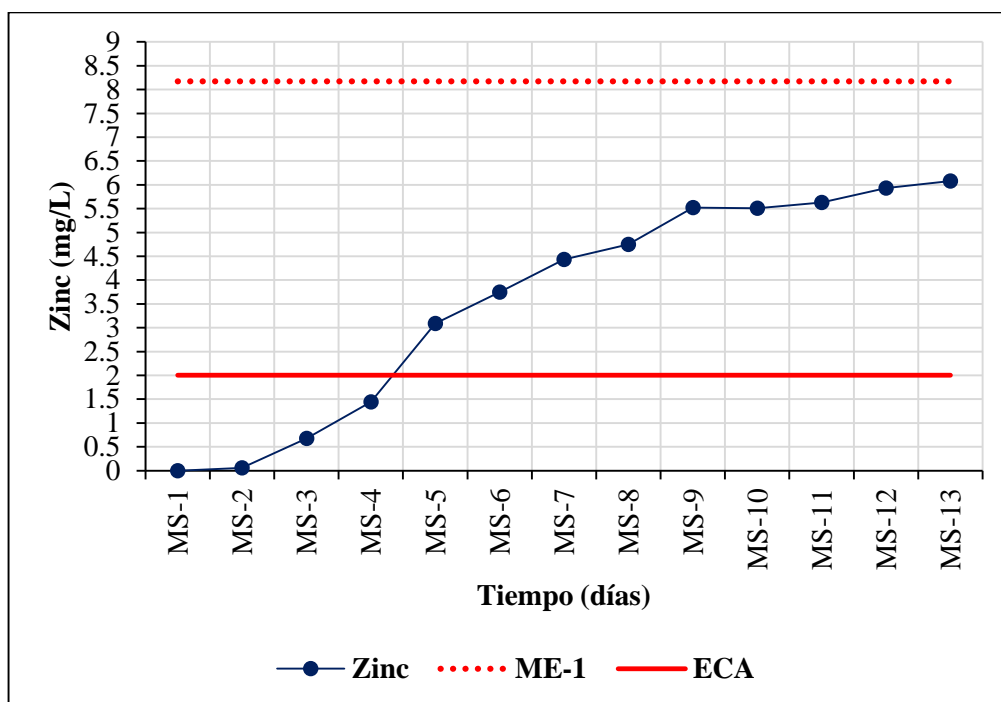


Gráfico 20. Análisis de Zinc

Fuente: Elaborado por los autores

Interpretación:

En el análisis del gráfico se observa que el ECA para Zinc, presenta un valor de 2 mg/L, en el punto de muestreo correspondiente al afluente ME – 1 sobrepasa el estándar de calidad ambiental, al obtener un valor de 8.171 mg/L; en los siguientes días en el efluente MS – 1 y MS – 2 desciende dicha concentración hasta alcanzar valores menor al límite de cuantificación (<0.016 mg/l); sin embargo en los puntos que resta del muestreo tiende a subir sobrepasando el ECA como consecuencia de lluvias en esos días, así lo demuestra la tabla 9 de precipitación perteneciente a la estación Chugur.

4.4. REMOCIÓN DE METALES TÓXICOS EN AGUA

Según López Pamo et al. (2002), para conocer la reducción de la concentración porcentual de los metales presentes en el tratamiento de agua ácida se da por la siguiente ecuación.

$$E\% = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

(Ecuación 11)

Donde:

E% = Eficacia de la eliminación

C_{in} = Concentración química en la entrada (mg/l)

C_{out} = Concentración química en la salida (mg/l)

Tabla 24. Remoción de metales tóxicos en agua

Parámetros	Remoción (%)
Aluminio (Al)	97
Arsénico (As)	100
Cadmio (Cd)	81
Cobre (Cu)	100
Cromo (Cr)	100
Hierro (Fe)	99
Manganeso (Mn)	71
Sodio(Na)	29
Níquel (Ni)	83
Plomo (Pb)	99
Sílice (Si)	38
Talio (Tl)	78
Vanadio (V)	77
Zinc (Zn)	56

Fuente: Elaborado por los autores

4.5. ANÁLISIS DE METALES TOTALES EN PLANTAS

Tabla 25. Análisis de metales totales en plantas del sistema de fitorremediación

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
			J-1	J-2	T-1	T-2	C-1	C-2
Plata (Ag)	mg/Kg	1.7	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.2	224.6	174.3	3508.5	673.4	32.8	484.9
Arsénico (As)	mg/Kg	0.3	0.795	1.2	<LCM	1.755	<LCM	5.624
Boro (B)	mg/Kg	2.1	16.26	11.14	6.124	4.61	2.55	<LCM
Bario (Ba)	mg/Kg	0.2	5.764	3.625	3.835	2.89	0.585	2.999
Berilio (Be)	mg/Kg	0.2	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/Kg	1.6	6023.7	10229.9	2122.2	3179.9	1820.2	3037.8
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.2	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.2	<LCM	<LCM	1.565	0.85	1.09	1.225
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.2	8.158	14.82	6.109	4.42	6.144	5.864
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.4	199.8	220.5	2687	2126	47.3	594.7
Mercurio(Hg)	mg/Kg	0.02	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Potasio (K)	mg/Kg	1.9	44401	47375	37857	33265	31802	17382
Litio (Li)	mg/Kg	4.9	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.4	4660	3867	1159	1055	1144	1072
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.7	151.7	549.6	323.8	204.7	11.63	246.7
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0.2	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.245	0.375
Sodio (Na)	mg/Kg	0.2	758	355.6	1796	1013	13.16	23.74
Niquel (Ni)	mg/Kg	1.8	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/Kg	0.2	1810	1170	3311	3596	1494	1069
Plomo (Pb)	mg/Kg	2	<LCM	<LCM	2.89	3.205	<LCM	25.18
Antimonio(Sb)	mg/Kg	0.3	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.7
Selenio (Se)	mg/Kg	8.5	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silice (Si)	mg/Kg	0.5	6.264	4.98	3.745	1.6	36.48	3.534
Estaño (Sn)	mg/Kg	1.7	<LCM	2.615	<LCM	37.12	11.24	2.594
Estroncio (Sr)	mg/Kg	8.5	37.89	31.29	<LCM	9.01	<LCM	8.483
Titanio (Ti)	mg/Kg	0.2	<LCM	<LCM	3.11	0.595	0.22	2.774
Talio (Tl)	mg/Kg	0.4	0.495	2.15	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/Kg	0.3	0.585	0.535	3.17	1.03	<LCM	1.355
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.4	56.75	791.4	50.15	170	13.92	148.4

Fuente: Elaborado por los autores

Legenda:

J – 1: *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) antes del tratamiento.

J – 2: *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) después del tratamiento.

T – 1: *Typha s pp* (Totorá) antes del tratamiento.

T – 2: *Typha s pp* (Totorá) después del tratamiento.

C – 1: *Cortaderia selloana* (Pasto de pampas) antes del tratamiento.

C – 2: *Cortaderia selloana* (Pasto de pampas) después del tratamiento.

4.5.1. Resultados de Absorción de Metales Totales en Plantas

Para conocer la capacidad de absorción de las especies vegetales aplicadas al tratamiento de agua ácida se realizó por la siguiente ecuación.

$$\mathbf{Abs = C_{fin} - C_{in}}$$

(Ecuación 12)

Donde:

Abs = Capacidad de absorción de la planta (mg/kg)

C_{fin} = Concentración química en la planta después del tratamiento (mg/kg)

C_{in} = Concentración química en la planta antes del tratamiento (mg/Kg)

Tabla 26. Resultados de absorción de metales totales en plantas

Parámetro	Absorción (mg/Kg)		
	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Typha spp</i>	<i>Cortaderia selloana</i>
Aluminio (Al)	-50.3	-2835.1	452.1
Arsénico (As)	0.41	1.76	5.62
Boro (B)	-5.12	-1.51	-2.55
Bario (Ba)	-2.12	-0.95	2.41
Calcio (Ca)	4206.2	1057.7	1217.6
Cromo (Cr)	<LCM	-0.715	0.14
Cobre (Cu)	6.66	-1.69	-0.28
Hierro (Fe)	20.7	-561	547.4
Potasio (K)	2974	-4592	-14420
Magnesio (Mg)	-793	-104	-72
Manganeso (Mn)	397.9	-119.1	235.1
Molibdeno (Mo)	<LCM	<LCM	0.13
Sodio (Na)	-402.4	-783	10.58
Fósforo (P)	-640	285	-425
Plomo (Pb)	<LCM	0.32	25.18
Antimonio(Sb)	<LCM	<LCM	0.7
Sílice (Si)	-1.28	-2.15	-32.95
Estaño (Sn)	2.62	37.12	-8.46
Estroncio (Sr)	-6.6	9.01	8.48

Titanio (Ti)	<LCM	-2.52	2.55
Talio (Tl)	1.66	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	-0.05	-2.14	1.36
Zinc (Zn)	734.65	119.85	134.48

Fuente: Elaborado por los autores

Eichhornia crassipes. Esta planta acumula 0.41 mg/Kg As, 4206.2 mg/Kg Ca, 6.66 mg/Kg Cu, 20.7 mg/Kg Fe, 2974 mg/Kg K, 397.9 mg/Kg Mn, 2.62 mg/Kg Sn, 1.66 mg/Kg Tl y 734.65 mg/Kg Zn

Typha spp. Presenta una acumulación de 1.76 mg/Kg As, 1057.7 mg/Kg Ca, 285 mg/Kg P, 0.32 mg/Kg Pb, 37.12 mg/Kg Sn, 9.01 mg/Kg Sr y 119.85 mg/Kg Zn

Cortaderia selloana. Presenta una acumulación de 452.1mg/Kg Al, 5.62 mg/Kg As, 2.41mg/Kg Ba, 1217.6 mg/Kg Ca, 0.14mg/Kg Cr, 547.4mg/Kg Fe, 235.1 mg/Kg Mn, 0.13 mg/Kg Mo, 10.58 mg/Kg Na, 25.18 mg/Kg Pb, 0.7mg/Kg Sb, 8.48 mg/Kg Sr, 2.55 mg/Kg Ti, 1.36 mg/Kg V y 134.48 mg/Kg Zn

4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los análisis estadísticos se realizaron mediante el uso del software SPSS utilizando las técnicas de la estadística descriptiva, tales como: medidas de tendencia central; medidas de dispersión y también la estadística inferencial para la contratación de la significancia estadística de la hipótesis, mediante prueba estadística "Z".

4.6.1. Análisis de tendencia central y de dispersión

Este análisis se realizó en base a la tabla 23 sobre análisis de metales totales en agua, desde el muestreo MS-1 a MS-13 de agua tratada en el efluente.

Tabla 27. Análisis de tendencia central y de dispersión

Parámetro	n	Media	Desviación estándar
Aluminio	13	0.02315	0.019689
Arsénico	13	0.00000	0.000000
Bario	13	0.01815	0.001908
Berilio	13	0.00192	0.001754
Cadmio	13	0.02431	0.019636
Cobre	13	0.00000	0.000000
Cromo total	13	0.00000	0.000000
Hierro	13	0.10492	0.101008
Litio	13	0.01169	0.000630
Magnesio	13	17.27692	1.632985
Manganeso	13	6,05608	4.226421
Níquel	13	0.00154	0.001808
Plomo	13	0.00023	0.000832
Zinc	13	3.60346	2.309502
Total	182	1.93731	4.790393

Fuente: Elaborado por los autores

4.6.2. Análisis de la prueba estadística Z

$$S_X = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

(Ecuación 13)

Donde:

S_X = Desviación estándar de la distribución muestral de la media

S = Desviación estándar de la muestra

n = Tamaño de la muestra

$$S_X = \frac{4.790393}{182}$$

$$S_X = 0.3508$$

La siguiente fórmula se utilizó para calcular la prueba Z

$$Z = \frac{X_i - X}{S_X}$$

(Ecuación 14)

Donde:

Z = Puntuación de la medición transformada a unidades de desviación estándar

X_i = Valor de medición para transformar en unidades de desviación estándar.

X = Media de la distribución o el promedio de las mediciones $X = \sum X_i / n$

$$Z = \frac{[(1.93731 * 182) - (1.93731)]}{0.3508}$$

$$Z = 999.58$$

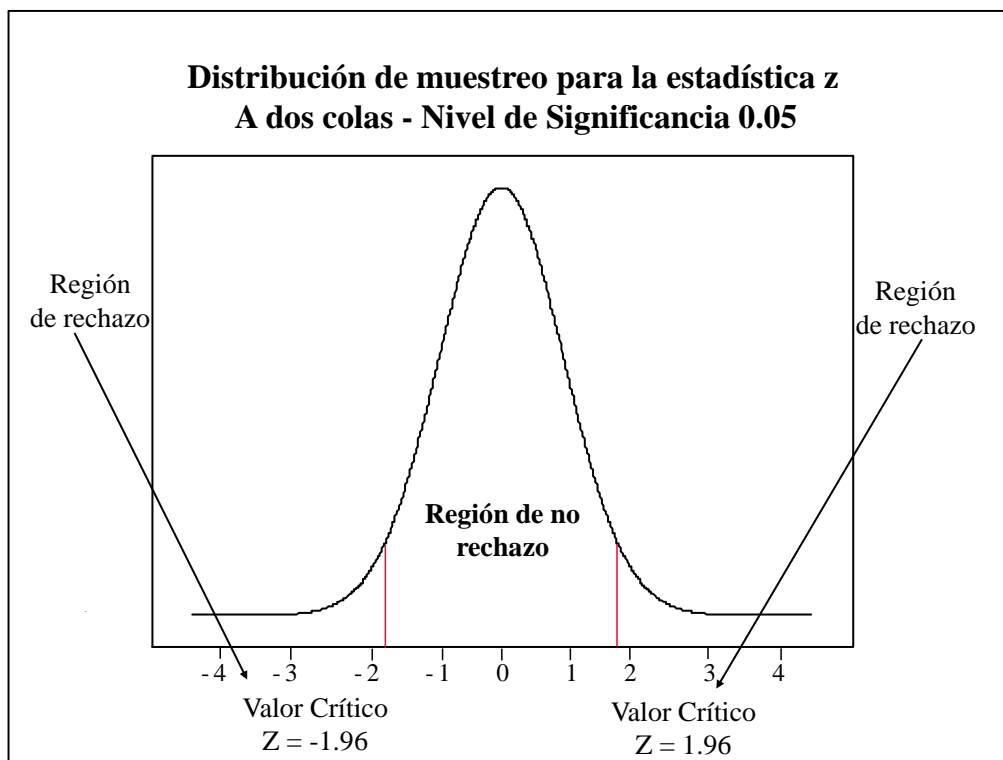


Figura 7. Distribución de muestreo Z para prueba de hipótesis nula

Fuente: Elaborado por los autores

Decisión. Como el valor Z estimado ($Z = 999.58$) es mayor que el valor Z crítico ($Z = 1,96$), entonces se rechaza la hipótesis nula (H_0) con un nivel de significancia $\alpha=0.05$ ó 95% de confianza, afirmando que el tratamiento con especies vegetales si ha reducido la concentración de metales tóxicos en agua ácida de la Quebrada Mesa de Plata – Hualgayoc – 2017.

5. CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La fitorremediación constituye una estrategia eficaz para el control de la contaminación de efluentes ácidos, gracias a la capacidad que tienen estas especies para limpiar o disminuir, absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de metales tóxicos aprovechando al máximo las propiedades de estos elementos para su metabolismo.
- Se logró diseñar el sistema piloto de fitorremediación mediante la bibliográfica consultada de la EPA y diferentes estudios de investigación, los mismos que expresan fórmulas basadas en experimentos de laboratorio aplicados al tratamiento de drenajes ácidos de mina.
- las especies vegetales se recolectaron del mismo Hualgayoc porque tienen la capacidad de adaptarse al mismo clima, además se sembraron 5 plantas/m² de *Typha spp*, 5 plantas/m² de *Cortaderia selloana* y 15 plantas/m² de *Eichhornia crassipes* estas plantas lograron adaptarse en un periodo de un mes.
- la construcción del sistema piloto de fitorremediación se realizó en el área de propiedad del Sr. Bernardo Vásquez López, cercano a la Quebrada Mesa de Plata, siendo accesible utilizar el agua para el tratamiento y generar la descarga del efluente tratado con mayor facilidad a la misma quebrada.
- El monitoreo se realizó mediante una toma de muestra en el afluente de entrada al cilindro controlador de caudal y cada 24 horas por un periodo de 19 días se efectuó el muestreo en el efluente tratado que es descargado a la misma Quebrada Mesa de Plata.

- De acuerdo a los resultados del laboratorio regional del agua sobre los análisis de metales tóxicos acumulados en las especies vegetales, indicamos que la *cortaderia selloana* presento mayor capacidad de absorción para la mayoría de metales tóxicos, y la *Typha spp.* menor capacidad de absorción durante el proceso de tratamiento del agua ácida
- De acuerdo a la evaluación de resultados sobre el agua generada por el proceso de tratamiento de fitorremediación, se identifica que los metales tóxicos presentan una remoción promedio en un ; 97% de Aluminio, 100 % de Arsénico, 81 % de Cadmio, 100% de cobre, 100% Cromo Total, 99% de Hierro, 71% de Manganeso, 29% de Sodio, 83% de Níquel, 99% Plomo, 38% de Sílice, 78% de Talio, 77% de Vanadio y 56% de Zinc.
- De acuerdo a la interpretación de gráficos sobre los resultados del tratamiento de fitorremediación; se muestra que los metales tóxicos como: cadmio, Manganeso y Zinc no cumplen con el ECA. Además las concentraciones en punto de muestro del afluente para Aluminio, Arsénico, Bario, Berilio, Boro, Cobre, Cobalto, Cromo Total, Hierro, Litio, Magnesio, Níquel y Plomo están dentro del estándar de calidad ambiental; sin embargo en todos los días restantes del muestreo en el efluente los valores indican que se mejorado la calidad del agua referente al ECA – 2017 para aguas - categoría 3, demostrado que el agua está apta para regadío de vegetales y bebida de animales.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para el diseño del SAPS a escala industrial y tratar un caudal mayor al nuestro, considerarse mayor a 50 cm de grava caliza, 30 cm de sustrato orgánico y 30 cm de lámina de agua, de acuerdo a nuestro trabajo realizado en campo identificamos que a una capa menor de sustrato orgánico aumenta la velocidad de filtrado y la los contaminantes no se precipitan.
- Se recomienda a los investigadores implementar un proceso adicional a los que hemos utilizado, con la finalidad de tratar algunos metales tóxicos que no han sido removidos por el sistema y así descargar aguas de categoría I (uso poblacional y recreacional).
- Con respecto a los monitoreos se recomienda hacerlos diario tanto en el afluente y efluente y para hacerlo más eficiente el sistema y tener un diseño a escala industrial más controlado, también en cada salida de las celdas del humedal.
- Para tratar grandes cantidades de caudal se recomienda adherir un SAPS adicional, así facilitaría el mantenimiento de los filtros una vez terminado su tiempo de vida.
- Para el humedal de *cortaderia selloana* se recomienda adaptar la especie con poca agua en un mes, transcurrido ese tiempo inundar 10 cm de lámina de agua; mayor a esta dimensión habrá fácil putrefacción de las hojas y pueden morir las especies vegetales debido a que no son propias de un medio acuático.

6. CAPITULO VI: LISTA DE REFERENCIAS

- Abril, LA; Parra, L.I. 2012. Diseño y Aplicación de una Capacitación sobre una Técnica de Fitorremediación con la planta Lemna minor Acumuladora de Cromo (vi). Bogotá D.C, Colombia, s. e. p 13-14.
- Aduvire, O. 2006. Drenaje Ácido de Mina Generación y Tratamiento. Madrid, España, s.e.
- Aulestia, KL. 2012. Respuestas fisiológicas de tres especies vegetales nativas sometidas a tratamiento con lixiviado de relleno sanitario: Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Biólogo. Tesis Blgo. Santiago de Cali, Colombia, Universidad del Valle.
- Bros, T. 2006. Utilización de Sistemas Pasivos para Mejorar la Calidad de las Aguas en Lagos Mineros: Aplicación a un caso de estudio. Tesis Ph.D. Oviedo. España, Universidad de Oviedo. ISBN 978-84-690-7888-4.
- Chaparro, TL. 2015. Drenajes Ácidos de mina. Formación y manejo. Revista ESAICA 1(1):53-57.
- Curt, MD. s. f. Macrofitas de interés en fitodepuración. s. l., 91,105 p.
- Decreto N° 059, 2005. Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera. Diario Oficial El Peruano. Perú. 7 dic.

- Delgadillo, O; Camacho, A; Pérez, LF; Andrade, M. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales: Proyecto Humedal. Antequera, N. Cochabamba, Bolivia. s. e. ISBN: 978-99954-766-2-5
- Duchicela, VN; Toledo, MK. 2014. “Determinación de eficiencia de especies vegetales: Totora - Achira implementadas en biofiltros para agua de riego en Punín 2013”. Tesis Ing. Riobamba, Ecuador, ESPOCH.
- EPA. 1993. Guía para el diseño y construcción de un humedal de flujo subsuperficial. Estados Unidos. s. e.
- EPA. 2000. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Humedales de flujo subsuperficial. Washington, D.C. Estados Unidos. s. e. EPA 832-F-00-023
- Estrada, I. 2010, Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales: Documento presentado como requisito para optar el título de Tecnóloga Química. Pereira, Colombia.
- Fraume, NJ. 2006. Diccionario ambiental: 1 ed. Bogotá, D.C. Colombia. Kimpres Ltda. ISBN: 978-958-648-462-9

- Gamonal, P. 2004. Tratamiento de Drenaje de Ácidos de Minas en Humedales Construidos.

- GFLC (Gold Fields La Cima, Perú). 2012. Modificación del Estudio de Impacto Ambiental de Cerro Corona - Plan Integral para la adecuación e implementación de actividades a los nuevos límites máximos permisibles de efluentes minero metalúrgicos y a los estándares de calidad ambiental para agua: 7ta modificación del EIA de cerro corona. MWH. Lima, Perú.

- GFLC (Gold Fields La Cima, Perú). 2017. Informe de Monitoreo de Calidad y Cantidad de Agua Superficial, Subterránea y Efluentes Primer Trimestre del Año 2017. Lima, Perú, Gold Fields La Cima. Informe N° 2642815.

- Inga, ER. 2011. “Tratamiento de Efluentes por el Método de Pantanos Artificiales (Wetland)”: Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias con Mención en Minería y Medio Ambiente. Tesis Mtro. Lima, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería.

- Jerez, J. 2013. Remoción de metales pesados en lixiviados mediante fitorremediación: Trabajo Final de Graduación sometido a la consideración de la Comisión de Trabajos Finales de Graduación para optar por el grado

de Licenciado en Química. Tesis Ing. San José, Costa Rica, UCR. p. 14-16.

- López Pamo, E; Aduvire, O; Baretino D. 2002. Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: Estado actual y perspectivas de futuro. Madrid, España. S. e. p 9. ISSN: 0366-0176
- Masters, GM.; ELA, WP. 2008. Introducción a la Ingeniería Medioambiental. 3 ed. Madrid, España, Pearson Educación, S.A. ISBN 978-84-8322-444-1.
- Medina, JF; Peralta, MO. 2015. “Validación de un prototipo de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica presentes en la industria”. Tesis ing. Cuenca, Ecuador, UPS.
- Medina, KD; Montano, YN. 2014. Determinación de factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza – Ancash 2013. Tesis Ing. Huaraz, Perú, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Nina, M. 2008. Evaluación de los métodos químicos y biogénico para el tratamiento de drenaje ácido de mina a escala de laboratorio: Tesis para

optar el grado académico de Magíster en Ciencias Ambientales. Tesis Mg.
Lima. Perú, UNMSM.

- Núñez, RA; Meas, Y; Ortega, R; Olgún EJ. 2004. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. México, D.F.
- Ocrospoma Nazario, MM. 2011. Experiencias de tratamiento de drenaje ácido de mina mediante el sistema de humedales en pasivos mineros. Tesis Ing. Huaraz, Perú, UNASAM.
- Ojeda, E; Mesa, R. 2008. *Cortaderia selloana* (Schult. & Schult. f.) Asch. & Graebn. 1,6 p.
- Pastuña, KD. 2015. “Fitorremediación del agua para el cultivo de plantas en el Vivero Forestal del Gad Municipal del Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, periodo 2015”. Tesis presentada previa la obtención del Título de Ingeniero en Medio Ambiente. Tesis Ing. Latacunga, Ecuador, Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Sanz, M; Dama, ED; Sobrino, E. 2004. Atlas de las plantas alóctonas invasoras de España: Dirección General para la Biodiversidad. Madrid, España. p 384.
- Sierra, R. 2006. Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Plomo por Actividad Industrial: Tesis Presentada como Requisito Parcial para la

Obtención del Título de Ingeniero Agrícola y Ambiental. Tesis Ing. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. UAAAN.

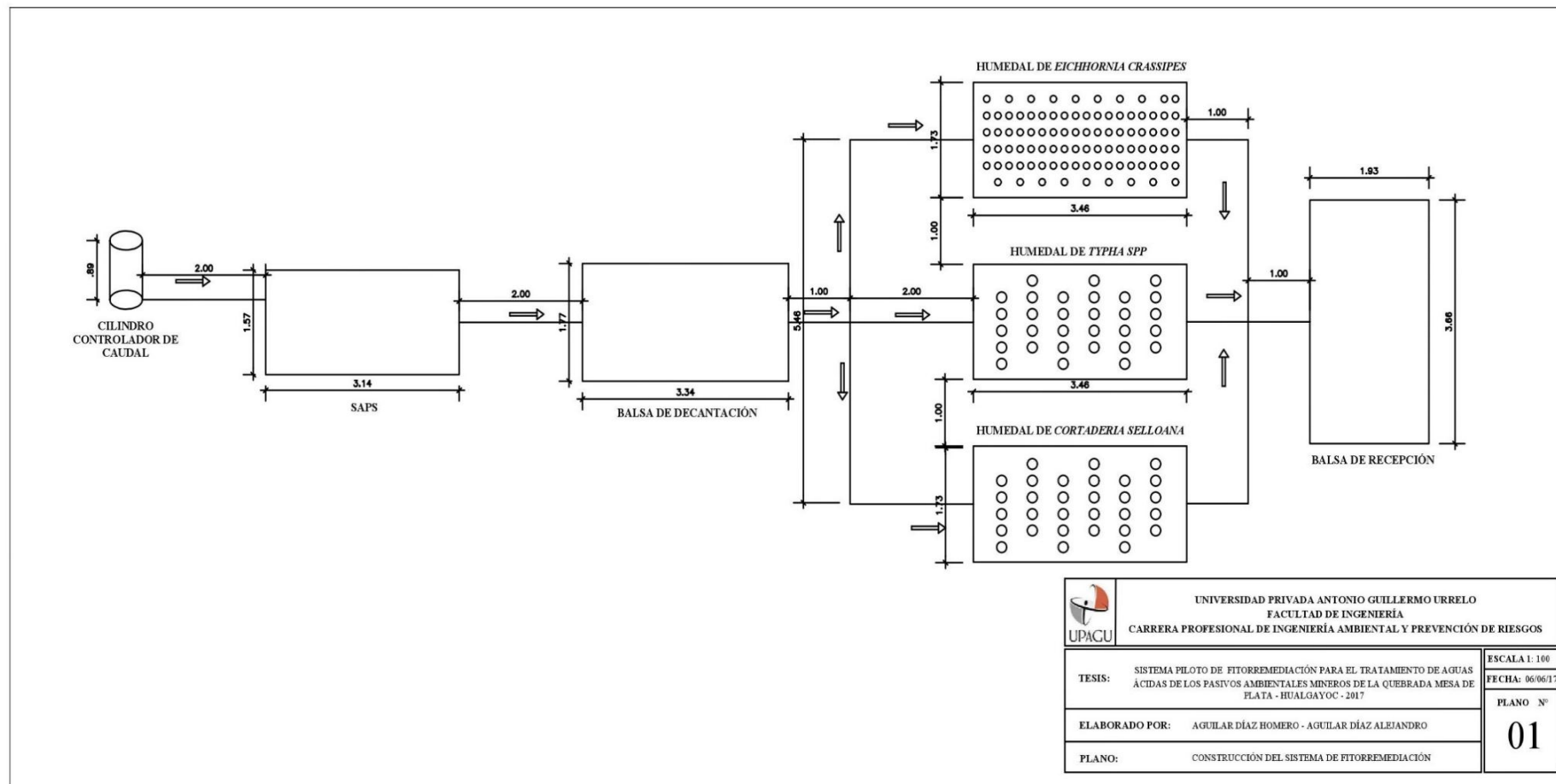
- Tapia, CM. 2009. “Ensayos de descontaminación de aguas residuales, mediante la utilización de plantas acuáticas, en sistema de pantano”: Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental. Tesis Ing. Loja, Ecuador, Universidad Técnica Particular de Loja.
- Torres, K; Zuluaga, T. 2009. Biorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos: Trabajo de grado para optar el título de ingeniería química. Tesis Ing. Medellín, Universidad Nacional de Colombia.
- Valero, ML. 2006. Aplicación tecnológica de las Macrófitas a la Depuración de Aguas Residuales con la ayuda de Microorganismos. Tesis Ing. Bucaramanga, Colombia, Universidad Industrial de Santander.
- Volke, T y Velasco JA. 2002. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. INE-SEMARNAT. México, D.F. ISBN: 968-817-557-9

Sitios web

- Figuerola, G; Asencio, A. 2015 Innovación en los sistemas de drenaje ante la elevada siniestralidad por la incidencia del agua subterránea en la edificación: Conductividad hidráulica y porosidad dependiendo de su clase textural. Interempresas Media, S.L.U (Rehabilitaciones y Reformas) (133892). Disponible en <http://www.interempresas.net/Rehabilitacion/Articulos/133892-Innovacion-sistemas-drenaje-elevada-siniestralidad-incidencia-agua-subterranea.html>
- MINSA (Ministerio de Salud del Perú). 2017. MINSA: Contaminación con Metales Pesados (en línea, sitio web). Consultado el 18 feb. 2017. Disponible en https://www.minsa.gob.pe/porta/web/06prevencion/prevencion_2.asp?sub5=3
- Vibrans, H. 2009 Cortaderia selloana (J. A. Schultes & J. H. Schultes) Aschers. & Graebn: Zacate de la pampa. Conabio.gob.mx. (en línea). Consultado el 27 de feb. 2017. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/cortaderia-selloana/fichas/ficha.htm>

7. CAPITULO IX: ANEXOS

Anexo 1. Plano del Sistema Piloto de Fitorremediación



Anexo 2. Informe de Ensayo de Agua Superficial de la Quebrada Mesa de Plata – Golfields



INSPECTORATE

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 031

Pag. 4

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 44041L/17-MA-MB

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	HSE-3	HSE-3-100	HSE-3-200	HSE-4	HSE-5	HSE-6
Fecha de Muestreo	2017-04-04	2017-04-04	2017-04-04	2017-04-04	2017-04-04	2017-04-04
Hora de Muestreo	08:00	08:15	08:30	09:00	09:30	09:50
Código de Laboratorio	03110	03110	03110	03110	03110	03110
Matriz	00001	00002	00003	00004	00005	00006
Matriz	AS	AS	AS	AS	AS	AS

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.						
Metales Totales ICP-MS									
Li (Tot)	mg/L	0.0012	0.0003	<0.0012	0.0015	<0.0012	<0.0012	<0.0012	<0.0012
B (Tot)	mg/L	0.0012	0.0006	<0.0012	<0.0012	0.1457	<0.0012	<0.0012	<0.0012
Be (Tot)	mg/L	0.0006	0.0003	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Al (Tot)	mg/L	0.0019	0.0010	1.5649	1.5307	<0.0019	0.9646	0.4651	0.4170
P (Tot)	mg/L	0.0033	0.0016	0.1352	0.1340	0.0037	0.0975	0.0414	0.0379
Ti (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	0.0350	0.0381	<0.0004	0.0288	0.0096	0.0082
V (Tot)	mg/L	0.0003	0.0002	0.0014	0.0023	<0.0003	0.0005	<0.0003	0.0004
Cr (Tot)	mg/L	0.0005	0.0002	0.0007	0.0009	<0.0005	0.0008	0.0008	0.0007
Mn (Tot)	mg/L	0.0003	0.0001	1.1979	1.2358	0.0005	0.0500	0.0378	0.0363
Co (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.0013	0.0013	<0.0002	0.0006	0.0006	0.0006
Ni (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	0.0019	0.0016	<0.0004	0.0004	<0.0004	<0.0004
Cu (Tot)	mg/L	0.0001	0.0001	0.1333	0.1407	0.0002	0.1081	0.1556	0.1630
Zn (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	1.0829	1.1051	0.0019	0.0306	0.0180	0.0192
As (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	0.0105	0.0112	<0.0004	0.0041	0.0011	0.0015
Sa (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Sr (Tot)	mg/L	0.0020	0.0010	0.2614	0.2662	<0.0020	0.2452	0.2773	0.2753
Mo (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.0006	0.0006	<0.0002	0.0004	0.0003	0.0003
Ag (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Cd (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.0084	0.0082	<0.0002	0.0002	<0.0002	<0.0002
Sr (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Sb (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.0031	0.0032	<0.0002	0.0016	0.0009	0.0010
Ba (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	0.0302	0.0313	<0.0004	0.0245	0.0182	0.0182
Ce (Tot)	mg/L	0.0003	0.0001	0.0024	0.0024	<0.0003	0.0012	0.0007	0.0007
Hg (Tot)	mg/L	0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Ti (Tot)	mg/L	0.0003	0.0002	0.0010	0.0011	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Pb (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.0266	0.0297	0.0003	0.0068	0.0018	0.0015
Bi (Tot)	mg/L	0.0003	0.0001	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Th (Tot)	mg/L	0.0010	0.0005	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
U (Tot)	mg/L	0.0003	0.0001	0.0004	0.0004	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Na (Tot)	mg/L	0.0100	0.0050	1.8056	1.9523	0.4382	1.7299	1.4933	1.1097
Mg (Tot)	mg/L	0.0356	0.0178	3.6951	3.9945	<0.0356	3.2755	3.4416	3.3045
K (Tot)	mg/L	0.0237	0.0119	0.9996	0.9599	0.0297	0.6874	0.4823	0.4589
Ca (Tot)	mg/L	0.0303	0.0152	83.9808	85.1711	<0.0303	68.9564	67.1834	62.9335
Fe (Tot)	mg/L	0.0031	0.0015	1.9636	2.0346	<0.0031	0.5094	0.2808	0.2459
Si (Tot) (*)	mg/L	0.1000	0.0500	5.5246	5.4085	<0.1000	4.6478	3.7681	3.7652

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.
No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
* "valor" significa no cuantificable debajo del límite de cuantificación indicado.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis.
Este tiempo variará desde 7 días hasta 6 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-9016
www.inspectorate.com.pe

TABLA 5.14: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE METALES TOTALES - AGUAS SUPERFICIALES

MES:		ABRIL	
TIPO DE MUESTRA :			
ESTACION EIA :			
ELEMENTO	Símbolo	Unidad	WQSC-2
Aluminio	Al	mg/l	0.2832
Antimonio	Sb	mg/l	0.0009
Arsénico	As	mg/l	0.0008
Berilio	Be	mg/l	<0.0006
Boro	B	mg/l	<0.0012
Cadmio	Cd	mg/l	0.0022
Cobalto	Co	mg/l	0.0061
Cobre	Cu	mg/l	0.8625
Cromo	Cr	mg/l	<0.0005
Hierro	Fe	mg/l	0.6872
Litio	Li	mg/l	<0.0012
Magnesio	Mg	mg/l	2.5435
Manganeso	Mn	mg/l	0.4597
Mercurio	Hg	mg/l	<0.0001
Níquel	Ni	mg/l	0.0031
Plomo	Pb	mg/l	0.0004
Selenio	Se	mg/l	0.0002
Zinc	Zn	mg/l	0.2978
			HSE-19
			04-abr
			0.1929
			0.0066
			0.0129
			<0.0006
			<0.0012
			0.0089
			0.0009
			0.023
			0.0007
			0.4771
			0.0031
			12.587
			1.958
			<0.0001
			<0.0004
			0.0426
			0.0005
			1.9566
			HSE-10
			04-abr
			0.1674
			0.0044
			0.0027
			<0.0006
			<0.0012
			0.0074
			0.0042
			0.1662
			0.0006
			0.1349
			0.0024
			9.3508
			1.0485
			<0.0001
			0.0008
			0.0042
			<0.0002
			1.1086
			HSE-27
			04-abr
			0.0997
			0.0008
			0.0011
			<0.0006
			<0.0012
			<0.0002
			0.0002
			0.0012
			0.0012
			0.0012
			0.002
			0.0008
			0.0813
			0.0012
			2.6594
			0.0067
			<0.0001
			0.0007
			0.0014
			0.0004
			0.0008
			0.0048
			HSE-28
			04-abr
			0.3454
			0.001
			0.0015
			<0.0006
			<0.0012
			<0.0002
			<0.0002
			0.002
			0.0013
			0.11
			0.1742
			<0.0012
			2.8503
			1.6845
			0.0098
			<0.0001
			0.0009
			0.0015
			0.0015
			<0.0002
			0.0068
			HSE-24
			04-abr
			0.1627
			0.0009
			0.0016
			<0.0006
			<0.0012
			<0.0002
			<0.0002
			0.0022
			0.0007
			0.11
			0.1742
			<0.0012
			1.597
			1.3171
			0.0048
			<0.0001
			0.0009
			0.0015
			0.0012
			<0.0002
			0.0053
			HSE-8
			04-abr
			0.3025
			0.0007
			0.0006
			<0.0006
			<0.0012
			<0.0002
			<0.0002
			0.0006
			0.163
			0.0007
			0.0006
			0.2459
			<0.0012
			3.3045
			0.0363
			<0.0001
			<0.0004
			0.001
			0.0017
			<0.0002
			0.0053
			HSE-25
			04-abr
			0.4473
			0.0004
			<0.0004
			<0.0006
			<0.0012
			<0.0002
			<0.0002
			0.0006
			0.0013
			0.1556
			0.0006
			0.2808
			<0.0012
			3.4416
			0.0378
			<0.0001
			<0.0004
			0.0018
			<0.0002
			0.0192
			HSE-5
			04-abr
			0.4651
			0.0009
			0.0011
			<0.0006
			<0.0012
			<0.0002
			0.0006
			0.1081
			0.0008
			0.5094
			<0.0012
			3.2755
			0.05
			<0.0001
			<0.0004
			0.0068
			<0.0002
			0.0306
			HSE-4
			04-abr
			0.9646
			0.0016
			0.0041
			<0.0006
			<0.0012
			<0.0002
			0.0006
			0.1081
			0.0008
			1.9638
			<0.0012
			3.6851
			1.1979
			<0.0001
			0.0004
			0.0019
			0.0265
			<0.0002
			1.0828
			HSE-3
			04-abr
			1.5949
			0.0031
			0.0105
			<0.0006
			<0.0012
			<0.0002
			0.0084
			0.0013
			0.1333
			0.0007
			1
			1.9638
			<0.0012
			3.6851
			1.1979
			<0.0001
			0.0004
			0.0019
			0.0265
			<0.0002
			1.0828
			LGA
			Clase III
			ND
			ND
			0.2
			ND
			0.1
			ND
			0.1
			1
			0.05
			ND
			0.05
			0.2
			0.2
			0.05
			0.02
			25
			ECA
			Cat. 3
			5

^a Estos puntos no presentaron flujo de agua.

	Valor que no cumple con la LGA.
aaa	Valor que no cumple con el ECA.
aaa	Valor que no cumple con la LGA y el ECA.

Anexo 3. Informe de Ensayo de pH y Acidez de la Quebrada Mesa de Plata



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
 POR EL ORGANISMO PERUANO DE
 ACREDITACIÓN INACAL-DA CON
 REGISTRO No LE 026

INFORME DE ENSAYO

C-578-E217-ADH

Pág. 01 de 02

CLIENTE : AGUILAR DIAZ HOMERO
 JR. SAN JORGE 182 - CAJAMARCA

MÉTODOS DE ENSAYO : Físicoquímico, Químico

ITEM DE ENSAYO : Agua Ácida

PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE ENSAYO : Envases de plástico


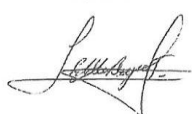
MUESTREO : Muestras tomadas por el cliente

LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN : Cajamarca, 27 de Mayo de 2017
 Hora: 08:00

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Cajamarca, 27 de Mayo de 2017

MÉTODO DE ENSAYO

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección	Tiempo máximo de conservación recomendado/obligado
pH*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ A, B, 22nd Ed. 2012	- Units pH	0.25h
Acidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2310 A, B, 22nd Ed 2012	<0.95 mg/L	14d

Sello	Fecha Emisión	Jefe Administrativo	Jefe del Laboratorio de Química
	08/06/2017	 Alexandra Aurazo Rodríguez	 Edder Neyra Jaico CIP 147028

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS SOLICITADOS PARA LOS ITEM DE ENSAYO RECIBIDOS.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO DE NKAP SRL.

*Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.

* Las muestras serán eliminadas al termino del tiempo máximo de conservación recomendado/ obligado, salvo requerimiento expreso del cliente

* Informes de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Sede Principal: Av. 02 Mz. C, Lot. 5 Parque Industrial - La Esperanza - Trujillo - Perú
 Sede Cajamarca: Libre Para Calle Mz. F, Lot. 16 Campo Real - Cajamarca - Perú
 C-578-E217-ADH
 www.nkap.com.pe

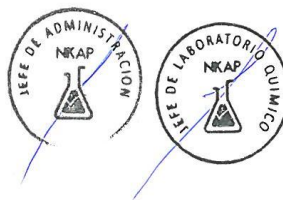
INFORME DE ENSAYO

C-578-E217-ADH

Pág. 02 de 02

Código de Laboratorio		C-578-01	
Código de Cliente		MAT-1	
Ítem de Ensayo		Agua Ácida	
Fecha de Muestreo		27/05/2017	
Hora de Muestreo		09:30	
Parámetro	Símbolo	Unidad	
pH*		Units pH	6.11
Acidez	-	mg/L	57.11

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA



Anexo 4. Informe de Ensayo de Agua Tratada



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA-Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° 0917565

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario	LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA		
N° RUC/DNI	-		
Dirección	Jr. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N URB. EL BOSQUE - CAJAMARCA		
Persona de contacto	Alejandro Aguilar Diaz		
Región/Provincia/Distrito	Cajamarca	Correo electrónico	

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo	22.08.17 al 04.09.17	Hora	09:05 a 15:00
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de Muestra	14 Muestras	N° Frascos x muestra	02
Ensayos solicitados	Fisicoquímicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.		
Responsable de la toma de muestra	Las muestras fueron tomadas por el Sr. Alejandro Aguilar Diaz		
Procedencia de la Muestra.	Quebrada Mesa de Plata - Hualgayoc.		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC - 611	Cadena de Custodia	CC - 565 - 17
N° Orden de Trabajo	0917565		
Fecha y Hora de Recepción	04.09.17	14:30	Inicio de Ensayo 04.09.17 15:00
Fecha Término de Ensayo	11.09.17	09:15	Reporte Resultado 12.09.17 12:00

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

por 
Bigo. **Juan V. Díez Saenz**
RESPONSABLE

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 04 de Octubre de 2017.

Cód: RT1-5-10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev: N°05

Página: 1 de 4

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
R. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140



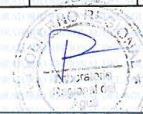
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° 0917565

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS						
Código Cliente	ME - 1	MS - 1	MS - 2	MS - 3	MS - 4	MS - 5	MS - 6		
Código Laboratorio	0917565-01	0917565-02	0917565-03	0917565-04	0917565-05	0917565-06	0917565-07		
Matriz de Agua	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL		
Descripción	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial		
Localización de la Muestra	N:9252166 E:764073	N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086		
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados						
° pH a 25°C	pH	NA	4.79	8.01	8.01	8.06	8.31	8.06	7.97
Conductividad a 25°C	uScm	NA	1444.0	1392.5	1387.5	1383.5	1375.5	1372.5	1374.0
Plata (Ag)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	0.906	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.023	0.027
Arsénico (As)	mg/L	0.003	0.021	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/L	0.021	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bario (Ba)	mg/L	0.002	0.015	0.021	0.019	0.018	0.016	0.017	0.017
Berilio (Be)	mg/L	0.002	<LCM	0.003	0.004	0.002	<LCM	0.004	0.002
Bismuto (Bi)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/L	0.070	186.20	254.30	247.10	248.70	240.60	238.20	233.50
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	0.126	<LCM	<LCM	<LCM	0.004	0.013	0.019
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cromo (Cr)	mg/L	0.002	0.005	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	0.072	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	8.989	<LCM	<LCM	0.021	0.033	0.083	0.074
Potasio (K)	mg/L	0.049	1.167	1.122	0.928	2.384	2.152	1.143	0.967
Litio (Li)	mg/L	0.004	0.011	0.012	0.012	0.012	0.011	0.011	0.011
Magnesio (Mg)	mg/L	0.017	15.000	20.260	19.600	19.480	17.010	16.340	16.050
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	20.750	0.030	0.070	0.808	2.037	4.409	5.602
Molibdénio (Mo)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Sodio (Na)	mg/L	0.018	0.820	0.288	0.302	0.435	0.443	0.551	0.596
Níquel (Ni)	mg/L	0.002	0.009	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/L	0.020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.030	<LCM	<LCM
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	0.031	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Azufre (S)	mg/L	0.085	124.000	115.000	112.300	114.500	116.400	121.100	123.700
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/L	0.085	5.763	2.439	2.431	3.098	3.130	3.273	3.325
Estroncio (Sr)	mg/L	0.002	0.455	0.690	0.670	0.684	0.633	0.623	0.610
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Talio (Tl)	mg/L	0.003	0.023	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.003	0.004
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/L	0.003	0.010	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	8.171	<LCM	0.055	0.679	1.439	3.086	3.749

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev: N°05



Página: 2 de 4

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO*
R. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° 0917565

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS							
Código Cliente			MS - 7	MS - 8	MS - 9	MS - 10	MS - 11	MS - 12	MS - 13	
Código Laboratorio			0917565-08	0917565-09	0917565-10	0917565-11	0917565-12	0917565-13	0917565-14	
Matriz de Agua			NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	
Descripción			Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	
Localización de la Muestra			N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados							
° pH a 25°C	pH	NA	7.84	7.81	7.68	7.70	7.63	7.61	7.60	
Conductividad a 25°C	uScm	NA	1371.5	1368.0	1368.5	1368.5	1353.5	1350.5	1347.0	
Plata (Ag)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	0.028	0.026	0.028	0.033	0.037	0.030	0.069	
Arsénico (As)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Boro (B)	mg/L	0.021	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Bario (Ba)	mg/L	0.002	0.016	0.016	0.017	0.018	0.019	0.021	0.021	
Berilio (Be)	mg/L	0.002	0.002	0.004	<LCM	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	
Bismuto (Bi)	mg/L	0.016	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Calcio (Ca)	mg/L	0.070	219.10	220.500	227.000	229.400	228.000	233.300	237.700	
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	0.025	0.029	0.042	0.041	0.043	0.049	0.051	
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Cromo (Cr)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	0.111	0.100	0.100	0.154	0.167	0.134	0.387	
Potasio (K)	mg/L	0.049	0.818	1.194	1.156	1.154	1.001	0.963	0.990	
Litio (Li)	mg/L	0.004	0.011	0.011	0.012	0.012	0.012	0.012	0.013	
Magnesio (Mg)	mg/L	0.017	15.160	15.440	16.360	16.470	16.770	17.530	18.130	
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	6.553	7.494	9.997	10.120	9.779	10.640	11.190	
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Sodio (Na)	mg/L	0.018	0.585	0.648	0.722	0.717	0.730	0.742	0.779	
Niquel (Ni)	mg/L	0.002	<LCM	0.002	0.004	0.003	0.003	0.004	0.004	
Fósforo (P)	mg/L	0.020	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	0.003	
Azufre (S)	mg/L	0.085	123.900	122.600	127.500	125.700	127.000	129.800	128.400	
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Selenio (Se)	mg/L	0.017	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Silicio (Si)	mg/L	0.085	3.34	3.528	3.941	4.010	4.277	4.761	5.138	
Estroncio (Sr)	mg/L	0.002	0.569	0.569	0.581	0.586	0.592	0.610	0.625	
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Talio (Tl)	mg/L	0.003	0.005	0.006	0.010	0.009	0.009	0.010	0.010	
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Vanadio (V)	mg/L	0.003	0.003	0.003	0.005	0.004	0.004	0.005	0.006	
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	4.433	4.746	5.518	5.507	5.628	5.929	6.076	

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev:N°05



Página: 3 de 4



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° 0917565


Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales por ICP-OES (Ag,Al,As,B, Ba,Be,Bi,Ca,Cd,Co,Cu,Cr,Fe,K,Li,Mn,Mg,Mo, Na,Ni,P,Pb,S,Sb,Se, Si,Sr, Ti,Ti,U,V,Zn)	mg/L	EPA 200.7. Rev 4.4.1994. (Validado) 2014. Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
pH a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-H+ B. 22 nd Ed. 2012. pH Value. Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B. 22 nd Ed 2012. Conductivity. Laboratory Method

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa
LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos. ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado
Los Resultados Quimicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.


 Ing. Mgriano de la Cruz Sarmiento
 Analista Responsable de Química
 CIP: 119544

Cajamarca, 04 de Octubre de 2017.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0917587(A)

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario	ALEJANDRO AGUILAR DÍAZ		
N° RUC/DNI	74203522		
Dirección	Jr. San Jorge N° 182		
Persona de contacto	-		
Región/Provincia/Distrito	Cajamarca	Correo electrónico	

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo	05.09.17 a 10.09.17	Hora:	09:00
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de Muestra	06 Muestras	N° Frascos x muestra	01
Ensayos solicitados	Químicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.		
Responsable de la toma de muestra	Las muestras fueron tomadas por el personal usuario		
Procedencia de la Muestra	Quebrada Mesa de Plata - Hualgayoc		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC - 611	Cadena de Custodia	CC - 587- 17
N° Orden de Trabajo	0917587		
Fecha y Hora de Recepción	11.09.17	08:45	Inicio de Ensayo 11.09.17 10:00
Fecha Término de Ensayo	20.09.17	15:00	Reporte Resultado 20.09.17 17:00

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

por
Rigoberto V. Díaz Saenz
RESPONSABLE

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 04 de Octubre de 2017.

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev:N°05

Página: 1 de 2

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO R. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0917587(A)

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			MS-14	MS-15	MS-16	MS-17	MS-18	MS-19
Código Laboratorio			0917587-01	0917587-02	0917587-03	0917587-04	0917587-05	0917587-06
Matriz de Agua			NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL
Descripción			Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
Localización de la Muestra			N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086	N:9252135 E:764086
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
° pH a 25°C	pH	NA	7.25	7.10	7.18	7.15	7.16	7.16
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	1400.5	1398.0	1396.5	1400.5	1402.0	1401.0

Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento
Analista Responsable de Química
CIP: 119544

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
pH a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-H+ B. 22 nd Ed. 2012. pH Value: Electrometric Method
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2510. B. 22 nd Ed. 2012. Conductivity. Laboratory Method

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa
LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado
Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método

NOTAS FINALES

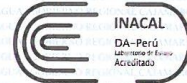
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Cajamarca, 04 de Octubre de 2017.

Anexo 5. Informe de Ensayo de Plantas



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0917587(B)

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO	
Razon Social/Usuario	ALEJANDRO AGUILAR DÍAZ
N° RUC/DNI	74203522
Dirección	Jr. San Jorge N° 182
Persona de contacto	-
Región/Provincia/Distrito	Cajamarca Correo electrónico

DATOS DE LA MUESTRA	
Fecha y Hora del Muestreo	20.07.17 Hora: 08:10 a 09:45
Tipo de Muestreo	Puntual
Número de Muestra	03 Muestras N° Frascos x muestra 01
Ensayos solicitados	Químicos
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.
Responsable de la toma de muestra	Las muestras fueron tomadas por el personal usuario
Procedencia de la Muestra:	Quebrada Mesa de Plata - Hualgayoc

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO					
N° Contrato	SC - 611	Cadena de Custodia	CC - 587- 17		
N° Orden de Trabajo	0917587				
Fecha y Hora de Recepción	11.09.17	08:45	Inicio de Ensayo	11.09.17	10:00
Fecha Término de Ensayo	20.09.17	15:00	Reporte Resultado	20.09.17	17:00

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

por
Bigo Juan V. Diaz Saenz
RESPONSABLE

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 04 de Octubre de 2017.

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev. N°05

Página: 1 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
R. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0917587(B)

ENSAYOS			FÍSICOQUÍMICOS					
Código Cliente			J-1	T-1	C-1	-	-	-
Código Laboratorio			0917587-07	0917587-09	0917587-11	-	-	-
Matriz			PLANTAS	PLANTAS	PLANTAS	-	-	-
Descripción			-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Hualgayoc	Hualgayoc	Hualgayoc	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	224.6	3508.5	32.8	-	-	-
Arsénico (As)	mg/Kg	0.30	0.795	<LCM	<LCM	-	-	-
Boro (B)	mg/Kg	2.10	16.26	6.12	2.550	-	-	-
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	5.764	3.835	0.585	-	-	-
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/Kg	1.60	6023.7	2122.2	1820.2	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	<LCM	1.565	1.090	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.20	8.158	6.11	6.144	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	199.8	2686.5	47.30	-	-	-
Mercurio	mg/Kg	0.020	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Potasio (K)	mg/Kg	1.90	44401	37857	31802	-	-	-
Litio (Li)	mg/Kg	4.90	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	4660	1159	1144	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	151.7	323.8	11.63	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	0.245	-	-	-
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	758.0	1795.9	13.16	-	-	-
Niquel (Ni)	mg/Kg	1.80	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	1810	3311	1494	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/Kg	2.00	<LCM	2.890	<LCM	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Selenio (Se)	mg/Kg	8.50	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Silice (Si)	mg/Kg	0.50	6.264	3.745	36.48	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	11.24	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/Kg	8.50	37.89	<LCM	<LCM	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/Kg	0.20	<LCM	3.110	0.220	-	-	-
Talio (Tl)	mg/Kg	0.40	0.495	<LCM	<LCM	-	-	-
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	0.585	3.170	<LCM	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	56.75	50.1	13.92	-	-	-

Cód: RT1-S-10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev: N°05

Página: 2 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0917587(B)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales por ICP-OES (Al, Sb, As, Ba, Be, B, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Pb, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, P, K, Se, Si, Ag, Na, Sr, Ti, Sn, Ti, V, Zn)	mg/Kg	EPA 200.7. Rev 5.0.2001. Determination of Trace elements in water, solids, and biosolids by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa
 LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
 (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
 (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento
 Analista Responsable de Química
 CIP: 119544

Cajamarca, 04 de Octubre de 2017.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0917587(C)

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO	
Razon Social/Usuario	ALEJANDRO AGUILAR DÍAZ
N° RUC/DNI	74203522
Dirección	Jr. San Jorge N° 182
Persona de contacto	-
Región/Provincia/Distrito	Cajamarca Correo electrónico

DATOS DE LA MUESTRA	
Fecha y Hora del Muestreo	10.09.17 Hora: 09:30
Tipo de Muestreo	Puntual
Número de Muestra	03 Muestras N° Frascos x muestra 01
Ensayos solicitados	Químicos
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.
Responsable de la toma de muestra	Las muestras fueron tomadas por el personal usuario
Procedencia de la Muestra:	Quebrada Mesa de Plata - Hualgayoc

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO			
N° Contrato	SC - 611	Cadena de Custodia	CC - 587- 17
N° Orden de Trabajo	0917587		
Fecha y Hora de Recepción	11.09.17	08:45	Inicio de Ensayo 11.09.17 10:00
Fecha Término de Ensayo	20.09.17	15:00	Reporte Resultado 20.09.17 17:00

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
 LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Por
 Bigo: Juan V. Díaz Saenz
 RESPONSABLE

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 04 de Octubre de 2017.

Cód: RT1-5-10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev:N°05

Página: 1 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO*
 R. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 *mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe / laboratoriodelagua@hotmail.com FONO: 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0917587(C)

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			J-2	T-2	C-2	-	-	-
Código Laboratorio			0917587-08	0917587-10	0917587-12	-	-	-
Matriz			PLANTAS	PLANTAS	PLANTAS	-	-	-
Descripción			-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Hualgayoc	Hualgayoc	Hualgayoc	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Plata (Ag)	mg/Kg	1.70	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/Kg	2.20	174.3	673.4	484.9	-	-	-
Arsénico (As)	mg/Kg	0.30	1.200	1.755	5.624	-	-	-
Boro (B)	mg/Kg	2.10	11.14	4.610	<LCM	-	-	-
Bario (Ba)	mg/Kg	0.20	3.625	2.890	2.999	-	-	-
Berilio (Be)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/Kg	1.60	10229.9	3179.9	3037.8	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/Kg	7.00	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/Kg	0.20	<LCM	0.850	1.225	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/Kg	0.20	14.82	4.420	5.864	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/Kg	1.40	220.5	2126	594.7	-	-	-
Mercurio	mg/Kg	0.020	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Potasio (K)	mg/Kg	1.90	47375	33265	17382	-	-	-
Litio (Li)	mg/Kg	4.90	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/Kg	0.40	3867	1055	1072	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/Kg	1.70	549.6	204.7	246.7	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0.20	<LCM	<LCM	0.375	-	-	-
Sodio (Na)	mg/Kg	0.20	355.6	1013	23.74	-	-	-
Niquel (Ni)	mg/Kg	1.80	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Fósforo (P)	mg/Kg	0.20	1170	3596	1069	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/Kg	2.00	<LCM	3.205	25.18	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0.30	<LCM	<LCM	0.700	-	-	-
Selenio (Se)	mg/Kg	8.50	<LCM	<LCM	<LCM	-	-	-
Silice (Si)	mg/Kg	0.50	4.980	1.600	3.534	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/Kg	1.70	2.615	37.12	2.594	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/Kg	8.50	31.29	9.010	8.483	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/Kg	0.20	<LCM	0.595	2.774	-	-	-
Talio (Tl)	mg/Kg	0.40	2.150	<LCM	<LCM	-	-	-
Vanadio (V)	mg/Kg	0.30	0.535	1.030	1.355	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/Kg	0.40	791.4	170.0	148.4	-	-	-

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev: N°05

Página: 2 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0917587(C)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales por ICP-OES (Al, Sb, As, Ba, Be, B, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Pb, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, P, K, Se, Si, Ag, Na, Sr, Ti, Sn, Ti, V, Zn)	mg/Kg	EPA 200.7 Rev 5 0.2001. Determination of Trace elements in water, solids, and biosolids by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa
 LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido
 (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA No aplica ND: No determinado
 (**) Los Resultados son referenciales. fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el simbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditacion otorgada por INACAL-DA.

Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento
 Analista Responsable de Química
 CIP: 119544

Cajamarca, 04 de Octubre de 2017.

**LABORATORIO REGIONAL
 DEL AGUA**

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev: N°05

Página: 3 de 3

Anexo 6. ECA-2017-Categoría 3. Riego de Vegetales y Bebida de Animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(μ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SMM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N)+ Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	$\Delta 3$		$\Delta 3$
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05

Cobre	mg/L	0,2	0,5	
Cobalto	mg/L	0,05	1	
Cromo Total	mg/L	0,1	1	
Hierro	mg/L	5	**	
Litio	mg/L	2,5	2,5	
Magnesio	mg/L	**	250	
Manganeso	mg/L	0,2	0,2	
Mercurio	mg/L	0,001	0,01	
Níquel	mg/L	0,2	1	
Plomo	mg/L	0,05	0,05	
Selenio	mg/L	0,02	0,05	
Zinc	mg/L	2	24	
ORGÁNICO				
<u>Bifenilos Policlorados</u>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04	0,045	
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35	35	
<u>Organoclorados</u>				
Aldrín	µg/L	0,004	0,7	
Clordano	µg/L	0,006	7	
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001	30	
Dieldrín	µg/L	0,5	0,5	
Endosulfán	µg/L	0,01	0,01	
Endrin	µg/L	0,004	0,2	
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01	0,03	
Lindano	µg/L	4	4	
<u>Carbamato</u>				
Aldicarb	µg/L	1	11	
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**